

PAULO VERGILIO GUIMARÃES JR

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS ACESSÓRIOS DE
POSTES DE CONCRETO ARMADO PARA REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Doutor na área de concentração: Engenharia e Ciência dos Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PIPE. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Franke Portella

Curitiba

2013

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, louvo a Deus por ter me dado saúde e capacidade para ampliar meus conhecimentos técnicos e desenvolver esta pesquisa em uma instituição de desenvolvimento científico tão importante quanto o LACTEC.

Este trabalho não alcançaria o resultado sem a presença marcante do orientador Prof. Kleber, que em vários momentos com apoio da equipe de bolsistas me orientaram nas interpretações relativas a ciência dos materiais.

Agradecimento especial à minha esposa IVANA e filhos GABRIEL e RAFAEL, que acreditaram me apoiando o tempo todo. Amo muito vocês.

Aos meus pais Paulo e Edith, que sempre torceram e lutaram pelo sucesso profissional dos filhos. Devo este título a vocês, muito obrigado.

À minha sogra Ivete que assumiu com entusiasmo as atividades no Sítio Vovô Miguel para não desviar minha atenção, e ao meu sogro Deodato (em memória), que me orientou no caminho promissor para vida profissional, com seu exemplo, encorajando-me para difícil jornada. Meus sinceros agradecimentos.

Aos colegas da Pró-Reitoria de Infra Estrutura do IFPR, que sem exitar assumiram parte das minhas atividades, desde já me comprometo a retribuir este exemplo de parceria. Muito obrigado.

A um colega especial pesquisador do LACTEC, Eng. Alex Joukoski que compartilhou os momentos de trabalho e glória na execução deste projeto, foi gratificante esta convivência.

Aos engenheiros Fernando Disena da CONCRETIS Pré-moldados, Marco Setembro da PETROFISA Soluções em PRFV, Mario Seixas Cabussú da COELBA, aos professores e secretariado do programa PIPE, agradeço à atenção dispensada e coloco-me a disposição. OBRIGADO.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	2
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE QUADROS	11
LISTA DE SIGLAS.....	12
RESUMO	13
ABSTRACT.....	14
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO PRINCIPAL.....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.3 HIPÓTESE	19
1.4 JUSTIFICATIVA	20
1.4.1 ECONÔMICA	20
1.4.2 SOCIAL.....	21
1.4.3 TÉCNICA.....	22
1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA	23
1.6 TRANSFERÊNCIAS TECNOLÓGICAS E DE INOVAÇÃO DESTA PESQUISA	25
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO	28
2.2 A UTILIZAÇÃO DOS POSTES DE CONCRETO ARMADO.....	31
2.3 OS NÚMEROS DE COLISÃO CONTRA ESTRUTURAS.....	38
2.4 ESTRUTURAS DE PROTEÇÃO CONTRA IMPACTO.....	43
2.5 A VELOCIDADE DE COLISÃO	45
2.6 DETERMINAÇÃO DA FORÇA GERADA PELO IMPACTO	49
2.7 APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO MATEMÁTICA	55
2.8 COLISÕES CONTRA POSTES DE CONCRETO	58
2.9 TUBO DE POLIÉSTER COM FIOS DE FIBRA DE VIDRO.....	61
2.10 ESTRUTURAS DE CONCRETO CONTRA IMPACTO	65
2.11 EMENDAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	71

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	77
3.1 ENSAIO DE “CRASH-TEST” EM POSTES DE CONCRETO – DIMENSIONAMENTO DO DISPOSITIVO EMPREGADO	77
3.2 MONTAGEM DA VIA FÉRREA	80
3.3 DESCRIÇÃO DETALHADA DOS ENSAIOS DE COLISÃO	82
3.3.1. MATERIAIS UTILIZADOS NO ENSAIO DE “CRASH TEST”	84
3.3.2. “CRASH TEST” 1	91
3.3.3. “CRASH TEST” 2	92
3.3.4. “CRASH TEST” 3	93
3.3.5. “CRASH TEST” 4	95
3.3.6. “CRASH TEST” 5	96
3.3.7. “CRASH TEST” 6	97
3.3.8. “CRASH TEST” 7	98
3.4 DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE POSTES MODULARES DE CONCRETO.....	100
3.4.1 ENSAIOS EM POSTE MODULAR DUPLO T COM EMENDA.....	102
3.4.2 EMENDA EM POSTE CIRCULAR MODULADO.....	133
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	141
4.1 ENSAIO DE IMPACTO – “CRASH TEST N° 1”	144
4.2 ENSAIO DE IMPACTO – “CRASH TEST N° 2”	149
4.3 ENSAIO DE IMPACTO – “CRASH TEST N° 3”	152
4.4 ENSAIO DE IMPACTO – “CRASH TEST N° 4”	154
4.5 ENSAIO DE IMPACTO – “CRASH TEST N° 5”	155
4.6 ENSAIO DE IMPACTO – “CRASH TEST N° 6”	157
4.7 ENSAIO DE IMPACTO – “CRASH TEST N° 7”	159
4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A EFICIÊNCIA DO SIMULADOR DE COLISÃO	161
4.9 ENSAIO COM PRISMA EMBUTIDO NA GAVETA DO POSTE	163
4.10 ENSAIO DE EMENDA REFORÇADA COM CINTA METÁLICA	166

4.11	EMENDA COM PRISMAS SOLIDARIZADOS COM GROUTE.....	168
4.12	ENSAIO ALTERANDO FORMA METÁLICA E ARMADURA	168
4.13	ENSAIO DA EMENDA REFORÇADA COM CHAPA XADREZ.....	171
4.14	ENSAIO COM EMENDA EM POSTE DT COM SEÇÃO MACIÇA	173
4.15	ENSAIO COM EMENDA EM POSTE CIRCULAR MODULADO.....	178
5.	CONCLUSÕES	181
5.1	QUANTO A EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE PROTEÇÃO	181
5.2	QUANTO AO SISTEMA DE EMENDAS EM POSTE DUPLO T.....	183
5.3	QUANTO AO SISTEMA DE EMENDA EM POSTE CIRCULAR.....	185
6.	TRABALHOS FUTUROS.....	187
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	189

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Colisão veicular contra poste das redes de distribuição de energia ocorrência cotidiana nas cidades barsileiras.....	16
Figura 2: Destruição das estruturas de proteção contra impacto veicular em poste de concreto seção duplo T utilizados nas RDE	32
Figura 3: Fatores influentes que elevam o numero de colisões no estado de Maine (EUA)	35
Figura 4: Esquema de dissipação da força de impacto na seção transversal circular do pilar de concreto	49
Figura 5: Gráfico da reação ao impacto para pilares de estrutura de ponte de concreto com diâmetro variando de 60, 90 e 120 cm.....	50
Figura 6: Gráfico da força de reação do pilar de concreto de seção circular de diâmetro 90 cm para velocidades de impacto entre 68 e 85 km/h	51
Figura 7: Gráfico dos picos de energia durante ação da força do impacto sobre pilar de concreto circular de diâmetro 90 cm	53
Figura 8: Diagrama de distribuição da força do impacto em relação ao ponto de conato entre veículo (caminhão) e o pilar de concreto de ponte	54
Figura 9: Estrutura do pilar de concreto fraturado pela força do impacto veicular, sem acessório de proteção	56
Figura 10: Gráfico da variação do fator de segurança (s) x espessura da camada de cobrimento de poste de concreto	57
Figura 11: Estrutura de concreto de poste da RDE danificada pela colisão veicular	58
Figura 12: Danos ao veículo após colisão contra poste de concreto da RDE.....	59
Figura 13: Colisão seguida de queda do poste de concreto da RDE sobre o veículo em via pública.....	59
Figura 14: Fabricação de tubos de PRFV através do processo contínuo denominado de “Filamento Winding”	62

Figura 15: Variação da intensidade do carregamento ao longo do tempo para pilar com estrutura de proteção do tipo aço-concreto-aço	70
Figura 16: Representação gráfica das forças atuantes na vagoneta que simulam momento da colisão	78
Figura 17: Projeto do reforço na estrutura metálica da vagoneta.....	79
Figura 18: Chassi ferroviário que compoem a base da vagoneta	79
Figura 19: Detalhe da vagoneta metálica projetada para o teste de impacto.	80
Figura 20: Conjunto monovia e veículo de carga em posição de lançamento	81
Figura 21: Veículo composto de 1500 kgf como carga total.....	81
Figura 22: Exemplo do conjunto luva de proteção em PRFV engastada no solo..	83
Figura 23: Sistema de estabilização da vagoneta.....	84
Figura 24: Amostra em forma de anéis das luvas do compósito de PRFV	86
Figura 25: Luva de proteção em PRFV no ponto de impacto	86
Figura 26: Instalação de sensores para captar o movimento.....	87
Figura 27: Identificação do poste fabricado em PRFV	88
Figura 28: Caminhão munck posicionando o poste de PRFV	88
Figura 29: Fixação da base do poste no ponto de impacto.....	89
Figura 30: Instalação de sensores para monitorar a aceleração	92
Figura 31: Conexão de cabo fibra ótica a CPU	93
Figura 32: Luva de proteção posicionada no ponto de impacto	94
Figura 33: Argamassa para enchimento compactada para travamento da luva....	94
Figura 34: Mistura de areia+agregado leve de EVA	95
Figura 35: Poste deslocado do centro da luva com recorte na face oposta ao impacto	97
Figura 36: Luva de proteção descentralização em relação ao poste.....	98
Figura 37: Instalação do conjunto poste +luva de proteção	99
Figura 38: Recorte do poste DT em dois modulados	104
Figura 39: Preenchimento dos moldes para ensaio de abatimento (A) e de resistência à compressão (B)	107
Figura 40: Aspecto visual dos constituintes do concreto fresco	108
Figura 41: Armadura de aço utilizada no prisma de concreto	108

Figura 42: Gaveta utilizada como fôrma para molde dos prismas	109
Figura 43: Concretagem e adensamento dos prismas nas gavetas	109
Figura 44: Acabamento na superfície (A) e na aresta (B) do prisma	110
Figura 45: Prismas de concreto com adições, estocados para ensaios.....	111
Figura 46: Instalação dos parafusos para travamento dos prismas.....	112
Figura 47: Poste com emenda tipo prisma posicionado para teste.....	113
Figura 48: Poste modular DT suspenso com balança conforme NBR	113
Figura 49: Poste modular DT suspenso com cinta conforme indústria	114
Figura 50: Içamento com ação dinâmica no poste DT padrão.....	115
Figura 51: Fôrmas metálicas para moldagem dos prismas	116
Figura 52: Proteção com filme de PVC para garantia de cura.....	116
Figura 53: Cinta metálica para reforço da armadura transversal.....	117
Figura 54: Cintas metálicas distribuídas na seção de emenda.....	118
Figura 55: Prisma fixado no poste modular com groute.....	119
Figura 56: Emenda reforçada com argamassa de alta resistência	120
Figura 57: Adaptação da forma para fabricação do poste modular	120
Figura 58: Junta plana sem folga para poste moldular DT	121
Figura 59: Chapa para separação dos módulos (A) e alteração nos estribos (B)	122
Figura 60: Armadura transversal de reforço tipo duplo T.....	122
Figura 61: Armadura transversal de reforço tipo zigue-zague	123
Figura 62: Armadura transversal de reforço tipo gancho	124
Figura 63: Pré-furos de travamento (A) e forma do prisma modificada (B)	124
Figura 64: Prisma moldado na forma com pinos que definem a furação.....	125
Figura 65: Junta de emenda com as faces planas e sem folga.....	126
Figura 66: Ensaio de elasticidade com carga de 150 daN, atuando na seção principal (A) e seção com gaveta (B)	127
Figura 67: Deformação do prisma com carga de 150 daN atuando na face A (maciça).....	128
Figura 68: Deformação do prisma com carga de 150 daN atuando na face B (gaveta)	128

Figura 69: Chapa xadrez com pinos (A) e junta metálica para distribuição de esforços (B).....	129
Figura 70: Posicionamento da chapa xadrez na gaveta do poste.....	130
Figura 71: Solidarização da emenda por meio do aperto nos pinos.....	131
Figura 72: Gaveta da emenda preenchida com argamassa de alta resistência ..	131
Figura 73: Forma metálica modificada para emenda com seção maciça	132
Figura 74: Seção de emenda e barras passantes (A) e estribos quadrados (B) .	132
Figura 75: Recorte no poste seção circular para produção dos módulos	134
Figura 76: Desenho dos acessórios para emenda de poste circular	135
Figura 77: Formas metálicas da cunha de travamento	136
Figura 78: Fôrmas metálicas e armadura da luva e cunha.....	136
Figura 79: Molde cunha interna e armadura	137
Figura 80: Moldes metálicos da luva externa com armadura.....	137
Figura 81: Molde metálico preenchido com concreto	138
Figura 82: Conjunto poste modular+luva+cunha posicionados	139
Figura 83: Aplicação de argamassa de alta resistência.....	140
Figura 84: Poste circular içado por único ponto de apoio	140
Figura 85: Frames do momento do impacto no poste de fibra.	147
Figura 86: Deformação da luva de proteção após impacto	148
Figura 87: Gráfico da desaceleração do conjunto luva de proteção + poste de PRFV	149
Figura 88: Deformação do conjunto após a colisão.....	150
Figura 89: Deslocamento do poste no sentido da colisão	152
Figura 90: Conjunto poste+luva de proteção após a colisão.....	153
Figura 91: Fratura na estrutura nos pontos sem proteção da luva.....	153
Figura 92: Integridade da estrutura na parte superior do ½ poste DT	155
Figura 93: Fratura da estrutura na parte inferior do ½ poste DT	155
Figura 94: Deslocamento do poste com a força da colisão.....	156
Figura 95: Desprendimento das barras de aço e afundamento da luva de proteção	157
Figura 96: Fraturas na estrutura de concreto.....	158

Figura 97: Posição do conjunto depois do impacto da vagoneta	160
Figura 98: Cisalhamento da luva externa com o impacto da vagoneta	160
Figura 99: Deslocamento do conjunto com a energia do impacto.....	160
Figura 100: Remoção do poste de concreto depois da colisão	161
Figura 101: Conjunto modular fraturado durante operação de içamento.....	163
Figura 102: Condição da emenda após içamento.....	164
Figura 103: Folga na junta de emenda decorrente do recorte com disco.....	164
Figura 104: Cisalhamento da alma do poste seção DT após ensaio.....	165
Figura 105: Alma do poste DT com trinca longitudinal.....	167
Figura 106: Ruptura da alma pela ação do esforço cortante	168
Figura 107: Colapso da estrutura no ensaio de içamento com esforço dinâmico	169
Figura 108: Caminhamento da trinca unindo as perfurações.....	170
Figura 109: Deformação da armadura de reforço transversal (estribos).....	170
Figura 110: Extremidade do prisma fraturada por compressão.....	171
Figura 111: Deformação na seção de emenda com carga de 210 daN.....	172
Figura 112: Descolamento do concreto da chapa Xadrez.....	172
Figura 113: Deformação das chapas de aço que travam o conjunto.....	173
Figura 114: Configuração da emenda maciça em poste modular	174
Figura 115: Fissuras superficiais (a) e estrutura rompida na seção maciça (b)...	174
Figura 116: Trinca por falta de aderência na armadura	176
Figura 117: Deslizamento da armadura longitudinal no concreto	177
Figura 118: Trinca na direção do estribo decorrente da tração no concreto	178
Figura 119: Ensaio de elasticidade para carga de ruptura de 600 daN e 1050 daN	179

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Crescimento demográfico e frota de veículos emplacados em 2012....	15
Quadro 2: Frequência dos acidentes nas rodovias Federais Brasileiras	18
Quadro 3: Postes abalroados diariamente nas cidades brasileiras	33
Quadro 4: Custo de reposição postes de concreto (BRASIL x EUA)	40
Quadro 5: Quantidade de postes abalroados no Paraná.....	41
Quadro 6: Dimensões médias dos anéis em materiais compósitos.....	86
Quadro 7: Características do ensaio de impacto N°1	91
Quadro 8: Características do ensaio de impacto N° 2.....	92
Quadro 9: Características do ensaio de impacto N° 3.....	93
Quadro 10: Características do ensaio de impacto N° 4	95
Quadro 11: Características do ensaio de impacto N° 5	96
Quadro 12: Características do ensaio de impacto N° 6	97
Quadro 13: Características do ensaio de impacto N° 7	98
Quadro 14: Limites da NBR 6118 e os praticados nas fábricas de pré-moldados	100
Quadro 15: Traço de referência para o concreto dos módulos.....	103
Quadro 16: Traço para moldagem dos prismas de concreto	105
Quadro 17: Tipo de adição ao concreto dos prismas	106
Quadro 18: Valores de velocidade e energia do ensaio	142
Quadro 19: Valor da força de impacto do ensaio	143
Quadro 20: Valores de deformação para ensaio de elasticidade	175
Quadro 21: Resistência à tração no ensaio de elasticidade.....	179

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
CP	Corpo de prova
daN	Deca Newton
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DNIT	Departamento Nacional de Infra estrutura e Transporte
DPS	Department of Public Safety
DPVAT	Danos pessoais causados por veículos automotores
DT	Poste de concreto armado seção duplo T
DTxT	Texas Department of Transport
FHWA	Federal Highway Administration
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Avançada
LACTEC	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
MDOT	Maine Department of Transportation Research Division
NBR	Norma Brasileira
NHWTSa	National Highway Traffic Safety Administration
PRFV	Poliéster reforçado com fibra de vidro
PVC	Cloreto de Polivinila
KWh	Quilo Watt hora
RDE	Redes de Distribuição de Energia
SI	Sistema Internacional de Unidades
UFPR	Universidade Federal do Paraná

Guimarães Jr, Paulo Vergílio. Estudo e desenvolvimento de dispositivos acessórios para postes de concreto armado das redes de distribuição de energia, 2013, Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 198 p.

RESUMO

A pesquisa teve foco no desenvolvimento de dispositivos e acessórios de concreto armado para redes de distribuição de energia elétrica, voltados à proteção das estruturas de concreto contra impacto provocado pela colisão veicular, como também, sistemas de emendas em postes modulados de seção transversal duplo T e circular. Foram executados ensaios de campo a partir da construção de via férrea para o deslocamento de veículo de carga, com características técnicas capaz de simular a colisão de um automóvel de 1000 cilindradas, a uma velocidade de 50 km/h contra postes de concreto armado. Com base nas propriedades dos materiais e no comportamento mecânico frente aos esforços gerados, definiu-se um sistema de proteção tipo luva para sobrepor a região do impacto. A segunda etapa do experimento consistiu na execução de ensaios com postes modulados, foram testadas diferentes configurações de emendas para suportar esforços durante as operações de içamento e originados no ensaio de elasticidade. Contra o poder destrutivo da força de colisão veicular, foi aprovada luva composta de polímero reforçado, material fabricado com fios de fibra de vidro entrelaçados e impregnados em resina poliéster, quando sobreposta na região do impacto transfere para o material de enchimento parcela de energia que é dissipada pela deformação dos materiais, o que reduz a ação da força cortante. Os resultados obtidos para sistemas de emendas em postes de seção duplo T não foram satisfatórios, especialmente em função do fator de forma, gerando elevadas tensões concentradas na borda inferior da seção. Foi evidenciado escorregamento da armadura por falta de ancoragem, fator agravado pela distribuição irregular da armadura transversal. Já, o desempenho do sistema de emenda para postes de seção circular se mostrou eficiente frente aos esforços, sendo as operações de montagem desempenhadas com facilidade e por isso consideradas procedentes pelas equipes de instalação.

Palavra-chave: impacto, colisão, postes de concreto, fibra de vidro, emendas estruturais.

Guimarães Jr, Paulo Vergílio. Estudo e desenvolvimento de dispositivos acessórios para postes de concreto armado das redes de distribuição de energia, 2013, Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 198 p.

ABSTRACT

The research focuses on the development of concrete devices and accessories to electrical energy distribution's networks, aimed at the protection of concrete structures against impacts caused by vehicle collision, as also, systems for amendment mounting in modulated poles of double T and circular transversal section. The development of the experimental part was divided in two steps: first, field trials were performed from the construction of a railroad for the commute of the loaded vehicle, with technical characteristics to simulate the collision of a regular vehicle of 1000 cc in a speed of 50 km/h, against concrete poles. Considering the properties of the materials used and the mechanical behavior before the efforts created, it was defined a sleeve protection system to overcome the zone of impact. The second step of the trial was composed by the performance of trials with different amendment characteristics on concrete structures of the modulated poles to withstand lifting efforts that acted during the transportation of parts and created by the elasticity trial. As a result from the destructive power of the collision force, it was approved the sleeves in reinforced with fiberglass polymer, material designed with an interviewed fiberglass yarn and impregnated with polyester resin, that, overlapped on the zone of impact, retains the shear, transferring to the filler, part of the dissipated energy with the transformation of the materials. The results of the trials of the amendment systems for the modulated poles with double T transversal section were not satisfying, since the form factor generated focused compression tensions on the uppers and lowers edges of the projected amendment. The investigation showed the slippage of the armature due to the lack of anchorage, factor also compounded by the irregular distribution and reduced taxes of the transversal armature. The performance of the amendment system for circular poles, on the other hand, showed its efficiency before the lifting efforts and the transformations resulted from the elasticity trial, with the assembly operations being performed easily and considered founded by the installation teams.

Key words: impact, collision, concrete poles, fiberglass, structural amendments

1. INTRODUÇÃO

A busca por empregos em regiões com melhores condições de vida promove a migração das pessoas para metrópoles, como consequência, a ocupação de áreas muitas vezes inadequadas para habitação têm sido comum, acentuada pela crescente demanda por investimentos em programas para inclusão social da população de baixa renda.

Aglomerados de casas construídas em terrenos de encostas, com declives acentuados, áreas de invasões, construções sobre as faixas de servidão, terrenos alagadiços em fundo de vale fazem parte da topografia urbana utilizada pela população mais carente, para construção irregular de suas moradias.

O crescimento desorganizado são exemplos de situações que provocam o estreitamento do espaço destinado às vias públicas para circulação dos veículos, dificultando a implantação futura das redes de distribuição de energia e água, quando estas áreas passarem a ser urbanizadas.

Numeros que comprovam o crescimento expressivo da frota de veículos brasileira coloca o Brasil em 4º lugar mundial, situando-se atrás apenas da China, EUA e Japão, em 2012 foram emplacados 5,2 milhões de veículos (OICA e DENATRAN, 2012).

Os numeros apresentados no

Quadro 1, representam os aglomerados urbanos de veículos existentes nos principais estados brasileiros, os quais trazem a triste realidade do elevado número de acidentes envolvendo colisão veicular.

Quadro 1: Crescimento demográfico e frota de veículos emplacados em 2012

<i>ESTADO</i>	<i>Nº de habitantes (milhões)</i>	<i>Veículos emplacados em 2012 (mil)</i>
São Paulo	41,9	1.086
Minas Gerais	19,8	506
Rio de Janeiro	16,2	271
Bahia	14,2	217

Paraná	10,5	294
--------	------	-----

Fonte: IBGE (2012)

Como consequência desta expansão demográfica se associa o aumento exagerado de veículos circulantes nos centros urbanos, que por não estarem preparados para este rápido incremento, transformam-se em metrópoles com vias constantemente engarrafadas, gerando stress aos motoristas que procuram recuperar o tempo perdido e na primeira oportunidade, exedem os limites de velocidade conduzindo o veículo de forma insegura.

Esta tensão e ansiedade muitas vezes acabam sendo condições protagonistas de acidentes, como as colisões contra os postes de concreto que sustentam as redes de distribuição de energia, que se encontram na lateral das vias muito próximos ao meio fio, alinhamento que limita a largura da pista de circulação dos veículos, como apresentado na Figura 1.

**Figura 1: Colisão veicular contra poste das redes de distribuição de energia
ocorrência cotidiana nas cidades barsileiras**



Fonte: VIAS SEGURAS (2013)

Neste contexto as concessionárias dos serviços públicos enfrentam verdadeiros desafios para exercer atividades diárias de implantação e manutenção das obras de infraestrutura. Em função das condições desfavoráveis, os trabalhos acabam, muitas vezes executados fora dos padrões normatizados, como consequência, a perda de tempo e retrabalho são inevitáveis.

Atuando em conjunto com fatores humanos que podem ser controlados, existem os naturais que são permanentes, principalmente na região litorânea, onde é acentuada a redução da durabilidade das estruturas de concreto e outros materiais empregados nas redes de distribuição, por permanecerem expostas aos agentes atmosféricos por longo período de tempo.

Por motivos como estes é de grande importância a avaliação de dispositivos que melhorem o desempenho e a vida útil das estruturas, pois se aprovados podem trazer economia, segurança e maior agilidade nos serviços de manutenção, mesmo se o investimento for superior quando comparado aos recursos consumidos atualmente.

A situação atual dos acidentes no país é alarmante, sendo registrado em 2010 pelo Ministério da Saúde 41mil óbitos decorrentes de acidentes de trânsito. Muitas entidades alertam o poder público sobre a gravidade do problema, com tentativas de implantar programas locais para reagir, apesar da dramática carência de suporte e coordenação em nível nacional (VIAS SEGURAS, 2013).

As companhias de seguros segundo o DPVAT indenizaram 58.000 sinistros de morte e 240.000 sinistros de invalidez permanente em 2011, números que passaram para 63.000 e 352.000 respectivamente em 2012. As consequências sociais dos acidentes são gravíssimas, porém mal conhecidas, como por exemplo, não existem levantamentos oficiais com números de portadores com deficiência em decorrência dos acidentes de trânsito (VIAS SEGURAS, 2013).

O custo sócio-econômico foi recentemente avaliado pelo IPEA, ficando próximo de 40 bilhões de reais/ano (VIAS SEGURAS, 2013).

Acidentes ocorridos na malha viária federal do Brasil foram classificados em 2002 em 14 categorias pelo DNIT, indicando em 4º lugar de acidente em rodovias a categoria de choque contra estruturas fixas. Deve-se observar que neste número não estão incluídos os acidentes ocorridos em vias municipais dos centros urbanos, que é o foco desta pesquisa, por concentrar maior número de veículos circulantes em condições de stress, agravada pela situação de risco das

estruturas instaladas junto à borda das vias, o que aumenta consideravelmente as chances da ocorrência de colisão.

No Quadro 2 estão as categorias de acidentes classificadas de acordo com a frequência em que ocorreram nas rodovias Federais no ano de 2002.

Quadro 2: Frequência dos acidentes nas rodovias Federais Brasileiras

RANK	CATEGORIA DO ACIDENTE	FREQUENCIA %
1	Colisão traseira	25
2	Abalroamento lateral mesmo sentido	12
3	Saída de pista	18
4	Choque com objeto fixo	9
5	Abalroamento transversal	7
6	Atropelamento	5,2
7	Abalroamento lateral sentido oposto	4,8
8	Atropelamento de animal	3,7
9	Capotagem	3,3
10	Tombamento	3,2
11	Colisão frontal	2,8
12	Atropelamento e fuga	1,4
13	Choque com veículo estacionado	0,5
14	Outros tipos	4,6
	Total	100

Fonte: VIAS SEGURAS (2013)

Segundo Kissula (2013), no ano de 2011 foram adquiridos 82.653 postes de concreto no estado do Paraná. Com este acréscimo a malha passou a ter 2.648.854 postes distribuídos 52.977 km de rede, como elementos para sustentação das redes de distribuição de energia.

1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Esta pesquisa teve como objetivos:

- o desenvolvimento de dispositivo para proteção contra impacto gerado pela colisão de veículo automotor sobre as estruturas de concreto das redes de distribuição de energia (RDE's);

- o desenvolvimento de dispositivos para emendas em postes modulados de concreto armado, com foco no desempenho da estrutura quando utilizada para sustentação das RDE's.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para orientar as ações na convergência com o objetivo principal, foram identificadas operações preliminares necessárias, sendo utilizadas como ferramentas a seguir descritas:

- a- construção de um simulador de impacto composto por uma via para deslocamento e um veículo de carga, capaz de reproduzir o impacto semelhante ao provocado por veículo automotor contra estruturas de concreto armado das RDE's;
- b- teste e avaliação do comportamento mecânico de materiais quando sujeito a ação dos esforços originados pela força do impacto veicular;
- c- promover por meio da energia potencial gravitacional, energia cinética equivalente à dissipada pela colisão provocada por um veículo com massa de 1000 kg, se deslocando a velocidade de 50 km/h;
- d- avaliar o comportamento do sistema de emenda em poste modulado de seção duplo T e circular, com ação dos esforços originados por ocasião do içamento para movimentação das peças;
- e- comparar a capacidade para deformação dos postes modulados emendados, utilizando como referência valores especificados da norma NBR 8541-2:2013 para postes padrão de concreto pré-moldado.

1.3 HIPÓTESE

A premissa nesta pesquisa foi alcançar o objetivo principal orientando-se pelas seguintes hipóteses:

- a- a força de colisão veicular pode ser dissipada por meio de materiais com capacidade de deformação, quando instalados adequadamente desempenhando a função de luva de proteção;
- b- a substituição de uma peça estrutural por módulos emendados só tem viabilidade se não ocorrer perda na resistência mecânica, quando os ensaios são executados na seção de emenda que é a mais solicitada;

1.4 JUSTIFICATIVA

1.4.1 Econômica

Em função das condições emergências onerosas em que são executados os trabalhos de reabilitação das estruturas de concreto que sustentam as RDE danificadas por colisão veicular, o investimento em tecnologia para melhorar o desempenho destas estruturas, mesmo que acarretando aumento de custo inicial devem ser consideradas ações importantes e necessárias ao desenvolvimento e segurança.

Além do que trabalhos emergências sempre estão relacionados a maiores demanda de tempos de execução, deixando inoperante não somente a estrutura afetada, mas outras no entorno de maior importância para população, como exemplo: hospitais, indústrias, escolas, banco e supermercados.

Estudos que venham a contribuir para melhorar o desempenho das estruturas que suportam as RDE's geram reflexos no valor mensal do kWh cobrado dos consumidores, principalmente quando envolvem movimentações de equipes para trabalho em "linha viva", ou seja, energizada que de alguma forma venham a interromper o fornecimento de energia.

Alcançar o melhor desempenho das estruturas de concreto frente ao impacto, provocado pela colisão de veículo automotor nas vias urbanas é fundamental, uma vez que reduz a gravidade dos danos causados pelo impacto

frontal, evitando a queda do poste sobre os veículos envolvidos no acidente, o que aumenta a segurança dos usuários da via.

1.4.2 Social

O atendimento à população com qualidade, segurança e rapidez nos serviços públicos e principalmente, nos serviços emergenciais são importantes, por ser sinônimo de eficiência para a sociedade, que enxerga como um bom retorno dos impostos pagos sobre este serviço.

A manutenção do conceito de qualidade é uma tarefa difícil e almejada pela maioria das concessionárias de energia elétrica, como é o caso da regularização das ligações em áreas não autorizadas, conhecidas como invasões, eliminando os famosos “gatos”, como são identificadas as ligações em condições irregulares.

Algumas das ações citadas fazem parte de programas de eletrificação voltados às populações carentes, pois, além de promover a segurança das pessoas, atua como uma espécie de serviço social, conferindo às habitações melhores condições de moradia e abrindo uma perspectiva futura para a urbanização e regularização da área.

Ocupações de regiões não urbanizadas por moradias de populações carentes impõem às concessionárias dos serviços públicos execução de trabalhos de infraestrutura em condições que muitas vezes estão fora dos padrões de segurança:

- a) pela inexistência de alinhamento predial definido, eliminando o recuo obrigatório, em desrespeito às normas do código municipal de obras, transformando os locais de instalação dos postes impróprios para implantação das RDEs;
- b) pela falta de outra solução a instalação de infraestrutura em vias de acesso sem a largura necessária para pista de rolamento e calçada, transforma o poste

de concreto da RDE como elemento delimitador do espaço, acabando em consequência como alvo das frequentes colisões;

c) o emprego de equipamentos que impõem manobras não compatíveis com o local, como o uso de caminhões tipo “munck” e estruturas em concreto de 15,00 m de comprimento, transforma os trabalhos cotidianos em operações arriscadas quando executados em ruas estreitas. Estes fatores elevam o grau de dificuldade, exigindo maior atenção para segurança dos trabalhadores.

1.4.3 Técnica

O desenvolvimento de novas tecnologias como a produção de postes modulados de concreto, postes mais duráveis para condições ambientais mais severas e com melhor desempenho mecânico em relação aos danos causados em eventos de colisão veicular, são demandas reais com potencial para produzir benefícios à população, quando aplicadas pelas equipes de manutenção das concessionárias de energia no dia a dia.

A interrupção no fornecimento de energia elétrica e a frequência com que estes ocorrem, são índices monitorados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e são utilizadas como parâmetros para liberação de recursos destinados às obras de ampliação, modernização e manutenção das redes, por isso necessitam ser reduzidos com adoção de novas tecnologias.

As estruturas de concreto armado são utilizadas por trazer economia e rapidez frente às exigências para as estruturas que suportam as redes aéreas de energia. Entretanto, quando estas estruturas estão expostas às condições mais agressivas como em ambientes litorâneos ou industriais, tem a resistência mecânica comprometida e a durabilidade estrutural reduzida para prazos inferiores há 05 anos conforme Ferreira (2008), o que as torna extremamente frágeis quando sujeitas à ação destrutiva gerada pela força da colisão veicular.

Outro fato analisado nesta pesquisa é que as estruturas de concreto armado utilizadas para suporte das RDEs são dimensionadas pelas normas da

ABNT, voltadas à utilização para suportar esforços combinados de compressão e flexão, gerando deformações que demandam certa capacidade elástica do material. Depois de instaladas acabam sujeitas a outros tipos de carregamentos, em decorrência do efeito combinado geram esforços intensos e diferenciados, o que conduz à ruptura e ao colapso estrutural em um curto período de utilização, sem atingir valores expressivos de resistência mecânica do concreto e ainda pouco estudado ou especificado nas normas de dimensionamento.

1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

A tese foi estruturada de forma a atender a investigação e busca por materiais com propriedades para absorção da energia gerada pelo impacto, e o estudo de métodos para produção de postes modulados, visando à proteção contra impacto veicular e a eficiência das estruturas de concreto pré-moldado que suportam as RDE.

No Capítulo 1, foi apresentado objetivo principal e específico, com base na hipótese assumida e justificada com argumentos econômicos, sociais e técnicos, que apontaram para a importância deste estudo. Focando principalmente no número de acidentes e danos decorrentes da colisão veicular contra postes de concreto que suportam as RDE no contexto dos dias atuais.

No Capítulo 2 foi realizada revisão bibliográfica de artigos técnicos correlatos ao tema, para entendimento do comportamento e circunstâncias relacionadas com o fenômeno da colisão veicular contra estruturas de concreto, como se desenvolve a ponto de levar à ruína estrutural.

Neste mesmo capítulo foi realizado o levantamento na literatura das condições técnicas necessárias para execução de emendas em estruturas de concreto armado, associada principalmente à configuração estrutural do poste padrão das redes de distribuição de energia, modelo duplo T e circular.

No Capítulo 3, foi descrita a programação experimental com definição do método causa/efeito a ser utilizado como ferramenta de comparação do

comportamento dos materiais, determinado parâmetros que delimitam o planejamento dos ensaios em campo, para simulação do fenômeno da colisão sobre estruturas lineares de concreto e sistemas de emendas em postes modulados.

Todos os aspectos estudados sempre em função dos objetivos a serem alcançados e das restrições estruturais existentes nos modelos atualmente empregados.

No Capítulo 4, foi analisado o comportamento mecânico dos materiais e discutido os resultados obtidos nos ensaios, recomendando-se os arranjos mais eficientes quanto à absorção de energia de colisão frente a ação da força de impacto e definida a capacidade de transferência de esforços pela seção de emenda em postes modulados, para melhorar o desempenho das estruturas quando sujeito às severas condições de serviço.

Foi também avaliado o desempenho do conjunto monovia férrea e veículo de carga, como instrumento de simulação do fenômeno destrutivo equivalente ao impacto veicular sobre estruturas de concreto.

No Capítulo 5, foram apresentadas as conclusões, com divulgação dos valores obtidos para os ensaios com arranjos mais eficientes, quando comparado com dados da literatura técnica identificando nos processos analisados características que ressalte o desempenho dos materiais.

No Capítulo 6, encontram-se sugestões de trabalhos futuros a partir dos resultados obtidos, como a produção de um protótipo com as dimensões e materiais testados que apresentaram eficiência na capacidade de absorver energia proveniente do impacto. Como também avaliar a viabilidade prática de montar postes modulados de concreto em regiões de difícil acesso, sem o uso de equipamentos de porte, a partir do sistema de emenda aprovado para seção circular.

Finalmente, no Capítulo 7, estão listadas as referências consultadas.

1.6 TRANSFERÊNCIAS TECNOLÓGICAS E INOVAÇÃO DESTA PESQUISA

Durante a execução da pesquisa, estruturas foram desenvolvidas e testadas com base em dados coletados na referência bibliográfica, envolvendo estudos voltados à elevada força atuante em colisões veiculares e a fragilidade da seção de emendas em sistemas estruturais retilíneos de concreto armado. Como produto obteve-se inovação tecnológica com o desenvolvimento de um sistema capaz de simular colisões veiculares contra anteparos fixos e um conjunto de acessórios capaz de transferir esforços atuantes na seção da emenda em postes circulares, fornecendo à estrutura modular resistência semelhante à peça original.

Os produtos constantes nos itens 1 e 2 já foram aprovados e tem os registros de Propriedade Industrial publicados, o item 3 ainda se está em fase de análise para aprovação pelo INPI, já o item 4 foi tema do artigo posto para apreciação no II ProspeCT&I - Congresso Brasileiro de Prospecção Tecnológica que descreve as tecnologias inovadoras desenvolvidas para melhorar as atividades no setor de distribuição de energia, os trabalhos estão intitulados a seguir:

- 1 PORTELLA, K. F.; GUIMARÃES JR. P.V.; JOUKOSKI, A.; LACERDA, L. A. de; OLIVEIRA, P. A.de; CERQUEIRA, D. P.; CABUSSÚ, M. S.; SALLES, R. N.; BOMFIM, M. A. D.; **Sistema para Teste de Colisão**. PI 11.00528-9 A2, solicitado em 15.02.2011. Publicação do Pedido de Patente na Revista de Propriedade Industrial (INPI) RPI 22 em 28 de maio de 2013.
- 2 PORTELLA, K. F.; GUIMARÃES JR. P.V.; JOUKOSKI, A.; LACERDA, L. A. de; OLIVEIRA, P. A.de; CERQUEIRA, D. P.; CABUSSÚ, M. S.; SALLES, R. N.; BOMFIM, M. A. D.; **Sistema para emenda de poste de concreto modulado de seção circular no campo**. PI 1102444-5, solicitado em 07.05. 2011. Publicação do Pedido de Patente na Revista de Propriedade Industrial (INPI) RPI 2217 em 02 de julho de 2013.

- 3 PORTELLA, K. F.; GUIMARÃES JR. P.V.; JOUKOSKI, A.; LACERDA, L. A. de; OLIVEIRA, P. A.de; CERQUEIRA, D. P.; CABUSSÚ, M. S.; SALLES, R. N.; BOMFIM, M. A. D.; **Estrutura de apoio para a verticalização estabilizada de postes de concreto em solos instáveis.** Solicitação do Pedido de Patente junto ao INPI em 2013.
- 4 PORTELLA, K. F., JOUKOSKI, A., LACTEC; CABUSSÚ, M. S., CERQUEIRA, D. P., COELBA; MEDEIROS, B. L., GUIMARÃES JÚNIOR, P. V., LACERDA, L. A., BOMFIM, M. A. D., OLIVEIRA, P. A. Acessórios para atendimentos emergenciais de estruturas civis em redes de distribuição de energia. II ProspeCT&I, 2012. Artigo Submetido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A dependência da energia elétrica é de tal importância para a civilização moderna, que sua falta conhecida como “os apagões”, causa transtorno desde uma simples residência, até prejuízos em sistemas mais complexos que acarretam prejuízos à sociedade como um todo.

A condição de exposição aos agentes atmosféricos que estão sujeita às RDEs, faz com que as interrupções no fornecimento não dependam unicamente da eficiência da concessionária, mas, também, da qualidade e da durabilidade dos materiais empregados nas instalações (SENIA, *apud* MELO *et al.*, 2003).

Na maioria dos países o sistema adotado para a condução da energia elétrica aos consumidores, por questões de rapidez e economia, é constituído de cabos aéreos suspensos em estruturas tipo postes de concreto ou aço. Estruturas sujeitas às situações de risco quando instaladas e submetidas às condições de serviço, que até pouco tempo não eram preocupantes para as concessionárias de energia elétrica.

Até a década de 80, as estruturas de concreto tipo poste somente eram utilizadas para suporte das redes aéreas de distribuição, atualmente, devido à privatização dos serviços públicos de telecomunicações e de distribuição de energia, estas estruturas são utilizadas para fixar uma quantidade exagerada de cabos que atendem a uma gama de serviços.

Esta diversidade na utilização tornou o desempenho dos postes mais importante para a operacionalidade das redes, sendo o surgimento de manifestações patológicas decorrentes da falta de qualidade dos produtos e processos de fabricação. Quando associada à sobrecarga de cabos e à condição insegura de exposição à colisão veicular em importantes vias dos centros urbanos, atuando em conjunto interfere sensivelmente para redução no tempo de vida útil destas estruturas.

2.1 DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

A rapidez com que a degradação atua sobre as estruturas de concreto armado quando não protegidas adequadamente em ambientes com atmosfera agressiva, na maioria dos casos compromete sua integridade, gerando custos elevados de recuperação e por isso, acabam normalmente não sendo realizadas em tempo hábil, culminando com o seu colapso.

A qualidade dos insumos e os procedimentos construtivos utilizados para fabricar as estruturas de concreto são fatores importantes, pois interferem na sua durabilidade, uma vez que a evolução nos padrões construtivos impõe limites cada vez mais desafiadores (JOHN, 2007).

O produto resultante da associação do concreto com aço gera um compósito de elevada resistência mecânica, sendo a camada de concreto que envolve as barras de aço (MEHTA, 1995; NEVILLE, 1997), considerada a proteção contra ação dos agentes agressivos presentes no meio ambiente, quando executado com espessura, constituição e dosagem adequadas à finalidade do projeto (ACI, MEHTA *apud* JOUKOSKI, *et al.*, 2002).

De acordo com Portella *et al.* (2006), como meta aumentar a durabilidade principalmente das estruturas de concreto implantadas em regiões litorâneas, onde a taxa de salinidade no ambiente é elevada e o processo de deterioração se desencadeia nos primeiros 150 dias de exposição, algumas concessionárias de energia elétrica que atuam no Brasil despertaram para a importância na implantação de padrões específicos para fabricação dos postes de concreto armado do setor energético.

Exemplo disto é o programa QUALICERT, desenvolvido pelo LACTEC no ano de 2008 em parceria com a Companhia de Energia Elétrica do Paraná (COPEL), como alvo os fornecedores de estruturas pré-moldadas de concreto armado para as RDE, preparando as indústrias do setor para implantação e certificação dos padrões de qualidade.

Este programa de certificação além de exercer o controle de qualidade para aquisição de matéria prima empregada na produção exigiu maior rigor na aplicação das normas técnicas da ABNT, durante os processos de fabricação, moldagem, cura, testes de resistência mecânica, procedimentos de estocagem e transporte dos postes de concreto armado.

Os resultados foram surpreendentes e comprovados pelas mudanças observadas no setor, que foram descritas a seguir:

- redução dos retrabalhos decorrentes de falhas no processo de produção;
- menor índice de reprovação para aceitação dos lotes no teste de esforço,
- redução na substituição de poste associados com defeitos de fabricação;
- identificação de um padrão de qualidade entre fornecedores, por apresentarem uniformidade na textura, dimensões e acabamento superficial, além do atendimento aos requisitos exigidos nos teste de elasticidade em bancada (FERREIRA, 2008);

Em decorrência da implantação deste programa, foi observada certa regularidade das empresas fornecedoras, deixando de participar dos processos de compra empresas sem experiência, com intenção de aventurar no mercado, como consequência alterar a margem de lucro para valores que não incluem cuidados com a produção e qualidade no material (FERREIRA, 2008).

O programa QUALICERT além de estabelecer padrões mínimos de fabricação e fornecimento para postes das RDE estabelece naturalmente uma relação entre preço de venda e o custo da produção, viabilizando assim melhoria contínua no processo.

Exemplificando as melhorias apresentadas aos fornecedores que participaram do programa QUALICERT, tem-se o caso das adições minerais, onde produtores do metacaulim, uma espécie argilo-mineral pulverulento, com propriedades pozolânicas, demonstraram a viabilidade sob o ponto de vista financeiro da substituição por uma fração do cimento Portland (VALLE, 2008).

Ensaio realizados comprovaram a alteração em algumas propriedades do concreto, como a redução no índice de vazios, gerando menor permeabilidade por capilaridade, o que resultou no aumento da resistência à compressão axial em função do aumento da densidade específica, que tem influência na durabilidade quando expostos em ambientes com atmosfera agressiva (VALLE, 2008).

Uma grande parte das obras de ampliação para RDEs estão em regiões litorâneas ou áreas industriais, onde os índices de agressividade ambiental são superiores aos normais, provocando elevado grau de corrosão em metais e deterioração prematura das estruturas de concreto armado, a ponto de reduzir a vida útil para menos de 05 anos (FERREIRA, 2008) e (JOUKOSKI *et al.* 2006).

Este fato já tinha sido constatado anteriormente por Joukoski *et al.* (2002), que concluíram parte do problema ter origem na ausência do cobrimento do aço pelo concreto, previsto pela norma NBR 6118:2007, além dos problemas de dosagem, cura e no manuseio inadequado durante às operações de transporte e içamento.

Segundo Portella *et al.* (2006), o recobrimento da armadura previsto na norma técnica NBR 6118:2007, obrigatório para conformação das estruturas de concreto armado, não constitui somente uma barreira física que separa o aço do meio externo, mas também, representa a criação de um meio alcalino ideal, onde o aço estaria protegido contra corrosão.

A baixa durabilidade das estruturas de concreto constatada no Brasil está atrelada a baixa qualidade dos insumos e falhas no controle do processo de fabricação, como por exemplo, o fator água/cimento desconhecido e o consumo de cimento para taxas abaixo de 150 kg/m³ de concreto (BATLOUNI NETO, 2007) (PORTELLA, *et al.* 2006).

Relações importantes para garantia da resistência mecânica à compressão axial e a impermeabilidade acabam sem controle, ficando muito ao sentimento dos operários, que por desconhecerem aspectos importantes da tecnologia do concreto, comprometem involuntariamente a durabilidade das estruturas, como observado na pesquisa de campo realizada por Portella, *et al.* (2006), na cidade

de Manaus (AM), quando foi avaliado o desempenho físico-químico das estruturas de concreto destinadas as RDE.

Com o aprimoramento das técnicas de produção e o avanço da tecnologia do concreto, certamente as estruturas atingiram o estágio de uma vida útil prolongada, o que pode ser um fator de compensação para o alto custo ambiental decorrente da etapa de extração da matéria prima das jazidas naturais para produção do cimento (JOHN, 2007).

2.2 UTILIZAÇÃO DE POSTES DE CONCRETO ARMADO

O custo para a implantação das RDE com cabos aéreos suspensos por postes de concreto é inferior se comparado às redes enterradas (6 a 10 vezes menor (Sá, 2008)), além de possibilitar a implantação com rapidez, por isso se caracteriza como o mais empregado pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica em operação no País.

Para suprir a demanda gerada pela ampliação e manutenção das RDE, anualmente no planejamento estratégico das concessionárias faz-se a previsão de investimentos para aquisição de postes de concreto em quantidades expressivas.

Como exemplo pode ser citado uma empresa concessionária do sul do Brasil, a qual adquiriu em 2010 a quantidade de 49.017 postes de concreto, passando para 82.653 unidades em 2011. Considerando a distância de 20 m como média entre as unidades, perfazeria a extensão de 1653 km de rede implantada no ano, conforme dados fornecidos pela Divisão de Gerência de Redes (KISSULA, 2013).

Parte deste investimento fica comprometida em função da destruição prematura pelo abaloamento provocado por choque veicular, como exemplo, cita-se o recorde do estado brasileiro do Rio Grande do Sul, com a estimativa de 10 postes abalroados diariamente (Toresan Jr, 2013). Quando são acrescidos ao valor já demandado pelos prejuízos materiais e sociais, somando-se os prejuízos

decorrentes das interrupções no fornecimento de energia, as cifras atingem valores elevados como divulgado pela concessionária de energia do estado do Maranhão no nordeste do Brasil, que em 2012 aplicou R\$ 6,7 milhões para reabilitação de estruturas abalroadas por colisão veicular.

A Figura 2 apresenta estruturas fixas constituídas de tubos de concreto com 90 cm de diâmetro, preenchidos com solo, sendo utilizados como barreiras de proteção para as estruturas de concreto armado que sustentam as RDE, e por estarem localizadas em locais de risco constantemente são danificadas.

Figura 2: Destruição das estruturas de proteção contra impacto veicular em poste de concreto seção duplo T utilizados nas RDE



Fonte: VIAS SEGURAS (2013)

Infelizmente dados existentes nos anuários nacionais não são atualizados com a mesma rapidez que os números de acidentes aumentam. Sendo utilizada pelo DENATRAN a pesquisa coordenada pelo IPEA (VIAS SEGURAS, 2013), onde foi divulgado que os custos sociais e econômicos gastos com indenizações por acidentes nas rodovias abrangendo as três esferas de governo em dezembro

de 2006, se aproximava de R\$ 22 bilhões, englobando a fatia destinada aos aglomerados urbanos na ordem dos R\$ 5 bilhões.

Esta situação preocupante deveria servir de alerta para dirigentes públicos e responsáveis pelas empresas de distribuição de energia elétrica dos centros urbanos. Situação bem evidenciada na reportagem realizada por emissora de TV em rede nacional, no dia 16 de março de 2010, alertando para a gravidade da situação.

Dados coletados nas principais cidades brasileiras foram apresentados na reportagem com o título *“Interrupção no fornecimento de energia elétrica em função de acidentes, envolvendo colisão de veículos contra poste de concreto das redes de distribuição de energia”*, fato ainda tratado com sensacionalismo, necessitando de um acompanhamento por parte das políticas públicas para redução dos índices desta realidade (GRPCOM, 2010).

No Quadro 3: , para melhor contextualização do problema foram relacionadas cidades brasileiras, e apresentada quantidade média de postes abalroados diariamente, com valor de reposição por unidade e o montante de prejuízos acumulados pelas concessionárias de energia elétrica no ano de 2009.

Quadro 3: Postes abalroados diariamente nas cidades brasileiras

CIDADES	POSTES / DIA ABALROADOS	VALOR MÉDIO DE REPOSIÇÃO R\$	PREJUIZOS EM 2009 R\$ (milhões)
SÃO LUIS (MA)	1,0	1.000,00	1,05 **
RIO DE JANEIRO (RJ)	1,6	2.300,00	1,68 **
CURITIBA (PR)	3,0	1.000,00	3,00 *
GOIANIA (GO)	3,1	1.500,00	3,25 **
SÃO PAULO (SP)	3,6	2.500,00	3,78 **
SALVADOR (BA)	6,3	2.200,00	7,00 *
PORTO ALEGRE (RS)	10	2.100,00	10,5 **

Fonte: GRPCOM (2010)

Nota: Valores identificados com símbolo (*) foram fornecidos pelas concessionárias e representam os prejuízos anuais decorrente da interrupção no fornecimento da energia elétrica pela quebra do poste devido à colisão veicular. Foram calculados os valores para as demais cidades e identificados com o símbolo (**) proporcionalmente.

Considerando que o poste de concreto duplo T com 10,50 m de comprimento e resistência nominal de 150 Kgf/cm², custava entre R\$ 600,00 a R\$ 900,00 em dezembro/2012, pode-se afirmar que o montante financeiro envolvido com os prejuízos gerados por colisão, seguida da interrupção no fornecimento de energia como demonstrado no Quadro 3, representam valores muito maiores quando comparado à simples substituição do poste de concreto. Isto evidencia a relevância do tema, justificando o investimento de recursos na pesquisa por parte do Governo e instituições de pesquisa.

Diferente do que acontece no Brasil, em países considerados desenvolvidos estudos são realizados por entidades públicas para auxiliar na definição das políticas, a fim de aumentar a segurança nas estradas e reduzir o número de acidentes, envolvendo colisão contra postes de concreto e outras estruturas fixas instaladas às margens das rodovias.

Segundo Brian (2001), o estado de Maine localizado a nordeste dos EUA no ano 2000 ocupava a 9ª posição no “rank” em número de acidentes fatais envolvendo colisões contra postes de concreto, mesmo sendo considerado um dos estados mais instruídos dos EUA. Segundo o censo realizado no ano de 2012, na região, 54% da população tinha um grau de instrução equivalente ao nível superior.

Nesta região as companhias de seguros, juntamente com a distribuidora de energia e gás MAINE POLICY ENERGY, se propuseram a levantar dados entre os anos de 1994 a 1998, para identificar quais as causas de acidentes fatais envolvendo postes de iluminação pública. Abrangendo o total de 38.000 km de rodovias estaduais e federais, onde 88% são utilizadas como vias de ligação das áreas urbanas e rurais, foram monitoradas durante o intervalo de quatro anos resultando em dados como, 7.544 colisões contra postes ocorridas neste período protagonizaram 54 mortes fatais e 4.131 lesões corporais permanentes.

Vários aspectos foram analisados por Brian (2001), para determinar quais situações que mais contribuíam para que as condições abaixo fossem consideradas de risco nas rodovias, especialmente as envolvidas com a colisão contra postes das RDE conforme a

Figura 3, entre elas têm-se:

- localização da rodovia (rural ou urbana);
- condições de visibilidade (lombada ou curva);
- condições da superfície do pavimento de rodagem (concreto ou asfalto);
- velocidade máxima permitida na rodovia, relacionando com acidentes fatais e lesões permanentes;
- diferentes tipos de interseção (cruzamento entre rodovias);
- dia da semana e hora de maior incidência de acidentes;
- tipologia da colisão.

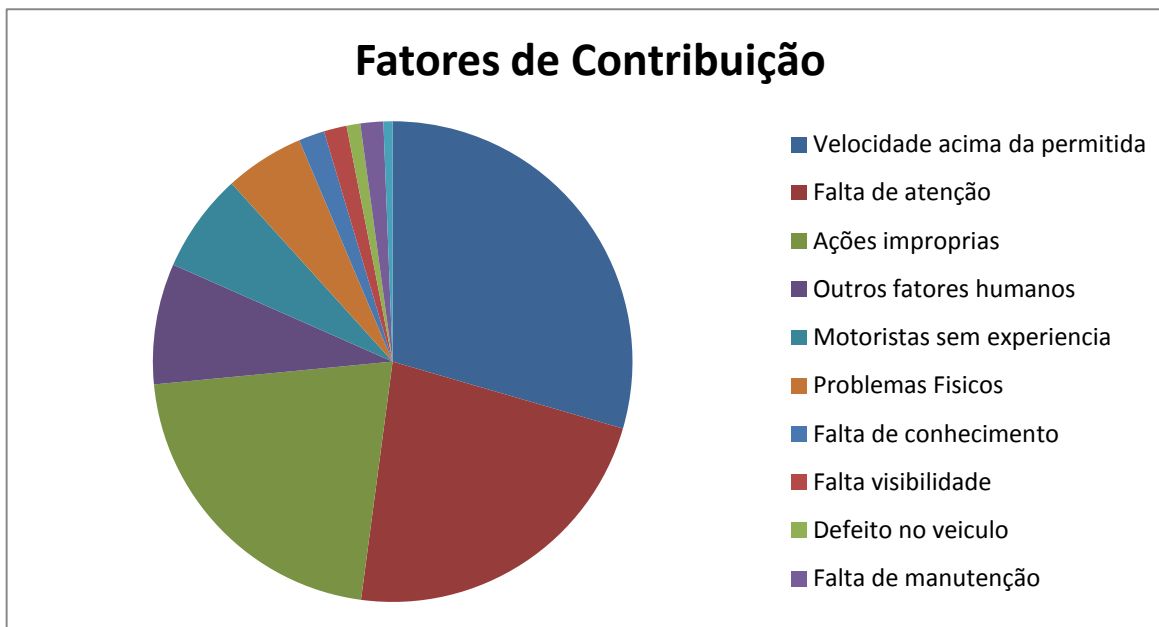


Figura 3: Fatores influentes que elevam o numero de colisões no estado de Maine (EUA)

Os fatores foram relacionados com a gravidade dos acidentes e distribuídos, sendo diferenciados como os três mais relevantes: a falta de atenção dos motoristas, ações ilegais como dirigir após a ingestão de bebidas alcoólicas ou drogas e a velocidade acima do limite, foram consideradas potencializadoras dos danos em relação à gravidade dos acidentes, que ocorreram nas rodovias americanas com abalroamento de postes das RDE.

Com base nos dados coletados por Brian (2001), alguns pontos foram considerados importantes se relacionados com a situação de algumas capitais brasileiras, que tem se deparado com problemas relacionados ao aumento exagerado de veículos circulantes, como por exemplo:

- o fato de que 74% dos acidentes ocorrerem em estradas rurais (que interligam centros urbanos), e somente 26% dos trechos serem urbanos, já no Brasil a situação se inverte, pois as RDE se concentram em sua maioria em regiões urbanas, onde a concentração de veículos por ser maior aumenta a probabilidade dos postes estarem instalados em áreas de risco;

- 49% das colisões contra poste de iluminação pública ocorreram em trechos retos, sendo 34% deste com curvas ou aclives de visibilidade comprometida, inexistência de dados para realização de um perfil paralelo com a situação das rodovias brasileiras;

- a definição de parâmetros geométricos para projetos das rodovias relacionados aos fatores de segurança, como: velocidade permitida na via e afastamento da borda que a estrutura deve ser instalada em relação à pista de rolamento;

- a utilização pela “National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)” da padronização para execução de projetos, uma espécie de norma que define locais para instalação das estruturas públicas, preferencialmente na margem direita da rodovia. Já, nas áreas urbanas das cidades brasileiras, o padrão é acompanhar o alinhamento do meio fio, quando existente os postes são cravados com afastamento variando entre 0,5 a 1,0 m;

- nas rodovias americanas, onde o limite de velocidade máxima foi registrado como 65 km/h, concluiu-se ser o custo dos reparos por colisão menor quando o afastamento da estrutura que suporta a RDE encontra-se a uma distância superior a 3,7 m da borda da pista de rolamento;

- foi constatado que o afastamento da borda da pista de até 4,3 m para áreas rurais e 2,4 m para áreas urbanas, ao ponto de instalação dos postes de iluminação pública, contribuí para a segurança. Nestas condições o número de colisões e a gravidade dos acidentes tiveram redução expressiva;

Resumindo, independente do limite de velocidade prevista para vias em áreas urbanas das cidades brasileiras, na maioria das situações não é possível respeitar ao afastamento mínimo de 3,7 m, para instalação das estruturas distante da borda da pista de rolamento. Se fosse optado em atender as recomendações definidas nos EUA pela NHTSA, seria obrigatória instalação de estruturas de proteção, junto à base no ponto de fixação do poste, para reduzir a gravidade dos acidentes e os prejuízos no caso de colisão.

Em decorrência do levantamento realizado por Brian (2001), nos anos seguintes, 55 estados americanos passaram a avaliar a política de implantação das estruturas que suportam as RDEs, sendo realizadas alterações nos manuais utilizados para execução dos projetos, incluindo as chamadas zonas seguras. Pontos que estatisticamente foram considerados perigosos, em função dos elevados índices de colisões foram relocados e posteriormente monitorados para certificar que as medidas tomadas resultaram em mais segurança aos usuários.

A partir do estudo apresentado por Brian (2001), foi possível traçar um paralelo à realidade de algumas cidades brasileiras, pois indicam fatores que interferem diretamente na incidência das colisões contra estruturas posicionadas à borda das rodovias, como velocidade acima do limite, ingestão de bebida alcoólica, à falta de atenção aliado ao cansaço dos condutores. Condições que potencializam a ocorrência das colisões quando associadas ao posicionamento inadequado das estruturas destinadas ao suporte das RDE's.

2.3 NÚMEROS QUE ALERTAM A PROBLEMÁTICA DAS COLISÕES CONTRA ESTRUTURAS

As estruturas de concreto armado tipo postes são utilizadas para sustentação das RDEs em todo o Brasil e na grande maioria dos países, particularmente, pela rapidez de implantação, viabilizando projetos de distribuição de energia que garantem o rápido crescimento de regiões escolhidas para o desenvolvimento. Sendo um fator importante para a garantia de infraestrutura, possibilita que milhares de pessoas tenham acesso à modernidade advinda com a globalização (internet e TV digital). Porém, este desenvolvimento pode acontecer de forma desordenada, com a implantação das estruturas urbanas sem planejamento antecipado, dificultando alterações drásticas no futuro.

No estudo realizado por Brian (2001), “Maine Department of Transportation Research Division (MDOT)”, de Augusta nos USA, indicou as principais situações que aumentam o risco de colisão contra postes das RDE, como sendo:

- em trechos retos das rodovias 62% dos acidentes são fatais, sendo 49% destas ocorrências colisões contra postes de concreto, praticamente a metade;
- em pista molhada 70% dos acidentes são ocorrências fatais, ou seja, a condição de aderência da pista dificulta a frenagem do veículo e consequente redução da velocidade antes da colisão e geração da força do impacto;
- 45% das rodovias americanas tem limite de velocidade definido em 72 km/h, sendo que 33% das colisões que ocorreram nestas vias, resultando 28% em vítimas fatais, ou seja, a maioria dos acidentes acaba em morte dos condutores;
- nos trechos curvos 34% dos acidentes registrados estão envolvidos com colisão contra postes das RDE, bem menor a proporção do que nos trechos retos, isto pode ser indicativo que o excesso de velocidade prevalece nos trechos retos;
- finais de semana e feriados os acidentes fatais ocorreram em condições muito similares, nos dias de sábado, domingo ou segunda, entre horários das 3:00 às 6:00 h da manhã sendo condutores jovens, o que indica a condução dos veículos depois de ingerir elevados teores de álcool ou drogas.

Foi verificado por Ivey e La Belle (1999) em estudo patrocinado por companhias de seguros e consórcios que administravam as concessões das rodovias privatizadas dos EUA, que o índice de acidentes envolvendo colisão contra postes de concreto era muito alto. Na ocasião foi proposto, como foco principal priorizar a redução dos custos de reembolso com indenizações às famílias e/ou vítimas dos acidentes.

As estruturas de concreto das RDE no Brasil, quando danificadas pela colisão seguida da queda da estrutura sobre o veículo, acarretam transtornos adicionais em função da ruptura dos cabos de rede energizados, exigindo a interrupção imediata no fornecimento de energia para região próxima ao local do acidente. Nos EUA, as linhas de distribuição de energia são subterrâneas, restando à rede aérea para os cabos de iluminação, o que reduz sensivelmente a área de interferência do acidente.

Denominada de “condição insegura” em regiões da Europa e EUA, pesquisas na área de segurança automobilística apresentavam como primeira opção para solução a recomendação de avaliar a posição de instalação da estrutura, prevendo outros elementos com função de redirecionar o veículo para fora da rota de colisão contra o poste da rede (IVEY e LA BELLE, 1999).

Para Ivey e La Belle (1999), coordenadores do grupo de estudos da segurança pública do Instituto de Transporte do Texas (EUA), a utilização de estruturas de aço tipo “guard-rail”, como barreiras de proteção e amortecimento de impacto para postes de iluminação pública, reduz de 50% até menos de 5% a probabilidade de danos sérios aos ocupantes dos veículos quando desenvolvendo velocidades médias. A solução encontrada foi desenvolver uma estrutura de aço rígida instalada na base do poste, envolvendo a região do impacto, tipo uma luva metálica. Para que o veículo ao colidir contra a estrutura de concreto do poste, em caso de ruptura, a queda só aconteceria pelo rompimento do poste na seção imediatamente superior à extremidade da luva.

A reposição do poste danificado representa uma tarefa onerosa e complicada, justificando investimentos em estruturas de proteção do tipo luvas

metálicas, “guard-rail” e outros sistemas como os amortecedores de impactos, que podem economizar até 75% dos custos aplicados em manutenção das estruturas por um período de 05 anos.

Mesmo com os critérios de prevenção adotados, dados apresentados pelo governo dos EUA informam que mais de 1100 pessoas são mortas/ano e 65 mil ficam seriamente feridas com acidentes que envolvem colisões contra postes das RDEs. Ivey e La Belle (1999), afirmaram que as entidades públicas e privadas do estado do Texas (EUA), deveriam ter maior preocupação com a questão da segurança das estradas, como por exemplo, a redução do número de acidentes envolvendo poste das companhias de iluminação e outros acessórios.

No levantamento realizado em 2009 pela Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no Brasil, constatou que a média de postes abalroados devido a colisões veiculares, variava de região para região, como já apresentado no Quadro 3: , atrelado a prejuízos muito maiores, causados pela paralisação no fornecimento de energia elétrica, do que propriamente o custo para reabilitação das estruturas danificadas.

No Quadro 4 estão apresentados dados estatísticos onde se constata a falta de informação e dados no tocante às despesas decorrentes a outros danos além da simples reposição do poste. Os pesquisadores IVEY e LA BELLE (1999) apresentaram para as cidades americanas, um valor de custos indiretos gastos com ressarcimento de danos materiais e seguros de vida incluídos nesta questão, que foram comparados com o Brasil.

Quadro 4: Custo de reposição postes de concreto (BRASIL x EUA)

LOCAL	VALOR DE REPOSIÇÃO	PREJUÍZOS ENVOLVIDOS
São Paulo (BR)	R\$ 2.500,00	Varia de 10 a 30 vezes o valor da reposição do poste
Curitiba (BR)	R\$1.500,00	
Cidades Americanas	U\$ 3.000,00	U\$30.000,00

Fonte: KISSULA (2013)

Os dados apresentados por Ivey e La Belle (1999), revelam a importância de um trabalho para conscientização da realidade, que só alcançaram bons resultados quando forem solucionados com a participação das empresas públicas, das companhias que administram as rodovias e da comunidade. A meta foi provar que uma pequena porcentagem de acidentes envolvendo 88 milhões dos postes existentes nos EUA foi responsável por 50% das mortes provocados por colisão veicular, e por isso, os locais onde estavam instaladas estas estruturas deveriam receber atenção mais rigorosa, como a implantação de medidas de segurança.

A situação nas grandes cidades brasileiras não é muito diferente quanto à quantidade de postes abalroados diariamente, número que cresce, pois a frota de veículos vem aumentando de forma exponencial, em contra partida às medidas para melhoria e segurança nas rodovias tem um tratamento tímido.

O estado do Paraná no sul do Brasil apresenta a malha viária urbana executada de forma planejada, mesmo assim as interrupções no fornecimento de energia relacionada aos acidentes envolvendo abalroamento de postes de concreto no biênio 2011/2012, foi proporcional a 2,0% do total dos incidentes ocorridos com a RDE conforme Kissula (2013), sendo a quantidade de postes abalroados nos últimos 03 anos apresentada no Quadro 5.

Quadro 5: Quantidade de postes abalroados no Paraná

ANO	2010	2011	2012
Postes Abalroados	2968	3293	3543

Fonte: KISSULA (2013)

Segundo Ivey e La Belle (1999), nos EUA, o custo de instalação de um poste novo para iluminação pública é de US\$6.000, sendo que sua reinstalação após colisão passa para próximo de US\$ 30.000.

Se o valor investido para redução dos prejuízos causados com o abalroamento dos postes de iluminação pública for comparado somente com o investimento necessário para instalação de um poste novo, dificilmente as

soluções apresentadas como medidas preventivas e de segurança seriam aprovadas. Pois, são muito inferiores aos danos quando relacionados com a interrupção no fornecimento de energia e principalmente, ao restabelecimento da saúde dos envolvidos no acidente.

Para Ivey e La Belle (1999), se fosse investido \$50 milhões em um período de 10 anos com estruturas de segurança nas rodovias, poderiam ser economizados por ano aos cofres públicos americanos cerca de U\$ 75 milhões, com verbas de manutenção e U\$ 5 bilhões em custos sociais, incluindo gastos com medicamentos, longos períodos para reabilitação de pacientes, mão de obra improdutiva e ações legais na justiça.

Entretanto, o parâmetro correto de comparação deve ser o prejuízo associado à interrupção no fornecimento de energia de uma gama de consumidores, acrescido do custo social decorrente dos danos físicos causados aos condutores e passageiros dos veículos. Com certeza, dentro desta ótica os recursos seriam suficientes para desenvolver pesquisas com simulação em centena de protótipos, para definição da melhor solução sob o ponto de vista (custo x benefício), priorizando a segurança dos usuários.

No estudo desenvolvido pelo Departamento de Pesquisa do Instituto de Transporte do Texas, a equipe de pesquisadores comandada por Beason e Bullard Jr. (1993), buscou detalhes para entender o efeito do impacto veicular sobre barreiras de concreto nas rodovias, aplicando programas computacionais e simuladores.

Antes de iniciar a etapa de ensaios em escala real, Eskandarian, *et al.* (2010) buscaram obter resultados com aplicação matemática de elementos finitos para auxiliar a determinação de fatores que viriam a contribuir para a redução de custos dos ensaios, apresentando resultados em escala tridimensional, que orientariam no desenvolvimento dos critérios de modulação e validação para melhoria da “performance” dos ensaios em campo.

Durante execução dos testes de colisão realizada pelos pesquisadores Beason e Bullard Jr.(1993), foi optado em manter constantes características da

estrutura de concreto, para avaliar o comportamento do sistema de união das barreiras portáteis, obteve-se diferentes resultados a partir da alteração das condições de impacto representadas por variáveis como ângulo de impacto, velocidade de colisão e condições para redução de energia.

2.4 ESTRUTURAS DE PROTEÇÃO CONTRA IMPACTO

Para Arrigton *et al.* (2009), a utilização de estruturas de proteção tipo “guard-rail”, ou seja, estruturas que associam a configuração geométrica com a deformação que se sujeitam quando expostas a força de compressão originada pelo impacto, absorvem energia reduzindo a reação contra o veículo e seus ocupantes. O que ficou caracterizado nos ensaios realizados, com resultado positivo, foi que é viável obter redução da força de impacto com utilização de materiais amortecedores, para que a energia seja absorvida antes de atingir a estrutura de concreto do poste.

Para Bayton, *et al.* (2008), as estruturas de proteção em uso atualmente nas rodovias do Reino Unido necessitam de mais avaliação em relação aos materiais empregados, como também, para o grau de segurança, a fim de acompanhar a tecnologia aplicada na fabricação dos automóveis.

Na pesquisa realizada por Bayton, *et al.* (2009), foi proposta uma série de ensaios de tração para avaliar a deformação do metal, nos pontos de conexão entre as chapas metálicas que fazem a união das barreiras de concreto. Ensaios foram executados buscando avaliar o desempenho em relação ao número de parafusos e ao afastamento da furação em relação à borda das chapas, para determinar qual a condição que produziria o menor alongamento, garantindo a mínima deformação das barreiras de proteção de concreto.

Na pesquisa de Stigson, *et al.* (2009), foi identificado a variação na intensidade dos danos causados a estrutura do veículo, tendo como referência diferentes tipos de veículos e objetos envolvidos na colisão, avaliando o desempenho dos materiais quanto ao sistema de fixação, como se comportava o

ponto de engastamento em função da ação da barreira de proteção sob efeito da força destruidora do impacto.

O foco da pesquisa de Arrigton *et al.* (2009), foi avaliar o comportamento dos materiais utilizados como enchimento para fixação da estrutura metálica no terreno, tendo como premissa condições de instalação pré-definidas pelo Depto de Transporte do Texas (DTxT). A partir de vários ensaios de “crash test”, com veículo monitorado por controle remoto, foram identificados quais os sistemas de fixação que absorviam e transferiam ao terreno mais energia, reduzindo os efeitos de reação da colisão sobre o veículo.

Foram escolhidos 05 diferentes materiais para enchimento, com propriedades mecânicas como resistência à compressão, tração e elasticidade determinadas em laboratórios, na sequência, foi avaliado o comportamento dos materiais com características amortecedoras, quando confinados no terreno sobre os efeitos destrutivos provocados no ensaio de colisão frontal ou “crash test”, utilizando como corpo impactante veículo robotizado (ARRIGTON, *et. al.* 2009).

Na busca por materiais que além de promover a fixação eficiente das defensas metálicas no terreno, apresentassem característica de deformação, amortizando a energia da colisão através do sistema de ancoragem. O amortecimento obtido com o material de enchimento no solo deveria evitar que a força do impacto provocasse lesões nos ocupantes do veículo, em decorrência do contato direto contra as barreiras de proteção metálica, o que agrava os danos.

Estudo na mesma linha foi promovido por Vilán, *et al.* (2010), quando foi analisada a absorção de energia na ancoragem dos postes que sustentam as RDE instalados na borda das rodovias. Dificuldade no desenvolvimento de uma metodologia padrão em função das características do terreno ser adversa, optando pela substituição no ponto de ancoragem por um material identificado como eficiente em ensaios de laboratório e por isso passou a compor o sistema de fixação das estruturas.

Associado ao fator segurança foi prevista a análise de outros quesitos importantes, apontados em função da experiência adquirida pelas equipes de

manutenção das rodovias, observando que o sistema de proteção e absorção de energia da colisão não deveria desempenhar a função isoladamente, devido à existência de fatores locais de interferência que necessitam ser avaliados, como:

- o material de enchimento deve ser de fácil instalação em campo pelas equipes de manutenção das rodovias;
- no local de instalação o crescimento da vegetação deve se inibido, para melhorar a visibilidade no entorno do ponto de fixação do poste;
- a contaminação do meio ambiente pela lixiviação das águas pluviais que entram em contato com o material de enchimento deve ser evitada, devendo assim o material se ambientalmente correto;
- finalmente, que o material de enchimento seja moldável de acordo com o espaço na base em cada tipo de pavimento no local de fixação do poste sobre a pista.

Arrigton *et. al.* (2009), concluíram que o material ideal dificilmente se apresentará para aplicação simples e direta, pois todos os arranjos possuem vantagens e desvantagens. O mais importante para o desenvolvimento da tecnologia é a descoberta dos limites de eficiência e o comportamento dos materiais no contexto do problema, para que em trabalhos futuros estas informações sejam aplicadas, obtendo assim um melhor desempenho dos materiais em prol da segurança.

2.5 VELOCIDADE DE COLISÃO

Para ressaltar a importância dos dados fornecidos por pesquisas anteriores pode ser utilizado o exemplo de Nystrom e Kost (1992), que utilizavam resultados coletados de uma série de ensaios realizados, formando um banco de dados que relacionava 04 elementos fundamentais, que interagem durante o fenômeno da colisão contra obstáculos instalados ao longo das rodovias americanas.

Os pontos fundamentais apontados por Nystrom e Kost (1992) para a formação do banco de dados foram:

- Resultados de 1.942 testes de colisão reunidos em 29 grupos, para cada ensaio foram coletados valores como: data, acabamento da pista de rolamento e caracterização do tipo do ensaio;
- Utilização de 2.133 tipos de veículos diferentes, reunindo resultados em 82 grupos com características geométricas do veículo, potencial de esmagamento, tipo de colisão (frontal ou traseira) e condições do veículo antes e depois do impacto;
- Dados de 2.465 ocupantes obtidos com ensaios utilizando robôs instrumentados, reunidos em 48 grupos com diferentes informações como: dimensões e modelo do robô e do veículo, posição do boneco no interior do veículo e levantamento de critérios para danos na região da cabeça;
- Utilização de 785 diferentes tipos de barreiras para amortecimento de impacto, reunidas em 8 grupos com informações do tipo: característica da superfície de contato e rigidez e deformação do material.

Estes dados foram inseridos em programas específicos para o cruzamento de informações como: colisões entre modelos diferentes de veículos x danos por ocupante no interior de cada veículo, ou a interação do tipo de veículo x diferentes tipos de barreiras de impacto, e assim foi determinado um valor teórico para a velocidade de colisão (NYSTROM e KOST, 1992).

Morgan e Ivey (1986), já realizavam estudos inicialmente relacionando colisões contra árvores, determinando a velocidade de pré-impacto a partir de dois métodos conhecidos como:

1) observação da geometria do esmagamento para obter o valor da velocidade de pré-impacto a partir da energia gerada com a colisão, tendo como referência os resultados de testes de colisões de veículos e barreiras de impacto padronizadas;

2) análise da situação no final da colisão, obtendo o valor da velocidade de colisão a partir da avaliação da máxima deformação obtida na estrutura do veículo em função do seu peso;

Para Morgan e Ivey (1986), o cálculo da velocidade de impacto (Equação 1), considerando todos os fatores envolvidos, principalmente o fato dos postes serem de madeira de diâmetro entre 25 a 35 cm e os dados coletados a partir de 90 testes desenvolvidos pela NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), podem ser representados pela seguinte equação:

$$V = D \times \sqrt{(395 - 0,062 W)} \quad (1)$$

Onde: V: velocidade de impacto (pés/seg.) → SI = km/h

D: deformação máxima residual no veículo (pés) → SI = cm

W: peso do veículo (lb) → SI = N

Assumindo a existência de um fator de correção entre a velocidade calculada pela fórmula e a velocidade obtida com os parâmetros dos 90 ensaios padronizados, Nystrom e Kost (1992), definiram um fator de correção (CRM = 6,7 mph) para determinação da velocidade de colisão.

Em função da variação observada nas condições em que o esmagamento máximo ocorria, diferenciando casos de colisão frontal ou traseira e dos valores de massa (kg). Foi considerado para impacto frontal o valor de 5,0 mph para velocidade inicial, sendo reduzido o fator CRM de 6,7 mph para 1,8 mph, na correção do valor da velocidade final, quando comparado com valores coletados nos 90 ensaios de referência (MORGAN e IVEY, 1986).

Portanto, a velocidade final de colisão pode ser calculada (Equações 2 e 3) com a aplicação da fórmula desenvolvida por Morgan e Ivey (1986), se corrigido o fator CRM no caso de colisão frontal contra postes de madeira, pela fórmula:

$$V = BPO + BP1 \times CRM, \text{ sendo} \quad (2)$$

$$BP1 = 1,53 - 2,47E \times W \quad (3)$$

Onde: V: velocidade de pré-impacto (km/h);

CRM: 1,8 o fator de correção para deformação máxima sobre o veículo;

BPO: velocidade observada que não provoca esmagamento de 8,0 km/h;

BP1: relação entre velocidade e esmagamento (km/h x cm);

W: peso do veículo (N).

Resultados teóricos, obtidos a partir da simulação matemática geram informações que servem de orientação para os pesquisadores, para execução de ensaios de campo mais confiáveis.

Na pesquisa de Buth, *et al.* (2011), a análise foi desenvolvida com base na colisão provocada por caminhão composto de cavalo mecânico + carreta tipo container (veículo pesado 36.000 kg), que colide contra pilar de concreto armado de seção circular ($\varnothing=152$ cm) integrante da estrutura de concreto armado para apoio de ponte rodoviária.

Com aplicação de simulador matemático e utilizando a técnica modelagem por elementos finitos, foi possível entender a interação entre o veículo e o pilar de concreto, levando-se em consideração fatores como diâmetro do pilar, tipologia do veículo, velocidade de deslocamento, além de fatores externos influentes, como por exemplo, a redução da visibilidade na rodovia em seções de tangentes e aclives.

Buth *et al.* (2011), partindo do valor da resistência ao cisalhamento da estrutura de concreto de um pilar de ponte padrão das rodovias apresentado na Figura 4, como também, do levantamento realizado em 19 rodovias expressas americanas "Highway", envolvidas com colisão de caminhões contra pilar de concreto, reuniram dados para alimentação de software de simulação matemática, também utilizado como referência pelo "Texas Department of Transportation (TTxD)", arquivos da "Federal Highway Administration (FHWA)", durante os anos de 2002 a 2006. Assim, o cálculo da probabilidade que venha a ocorrer colisão envolvendo veículo pesado em rodovias com as mesmas características da amostra, para prevenção na quantidade e gravidade dos acidentes, foi especificado padrões de referência para novos projetos, como:

- frequência anual que possa ocorrer este tipo de acidente no mesmo local;
- curvas horizontais são mais propícias a deslocar para fora da pista o veículo, do que as seções em tangentes;
- rodovias com pistas divididas por canteiro central, tem menor probabilidade para acidentes do que as sem divisão.

2.6 DETERMINAÇÃO DA FORÇA GERADA PELO IMPACTO

O esquema da Figura 4 representa a aplicação da força de impacto pontual sobre a coluna de concreto, onde a propagação da onda se desenvolve segundo o ângulo de 45° em relação à seção transversal da coluna, formando o plano de cisalhamento estrutural a partir do ponto de impacto.

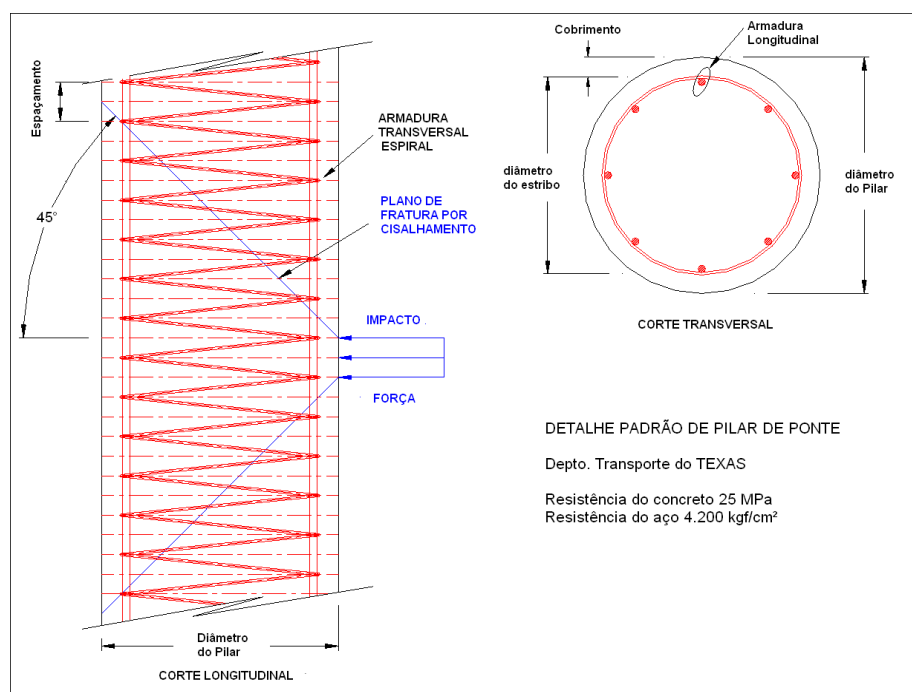


Figura 4: Esquema de dissipação da força de impacto na seção transversal circular do pilar de concreto

De acordo com Buth *et al.* (2011), é muito importante o confinamento da estrutura de concreto por estribos contínuos e circulares em forma de espiral, com espaçamento mais reduzido na região do impacto.

Pois, o concreto devido a baixa resistência à força cortante e por ter um reduzido potencial para deformação instantânea, tem a capacidade para dissipar a energia gerada pela força de colisão limitada, agravada pelo fenômeno ocorrer num intervalo de tempo muito curto. Resultando que pela elevada resistência à compressão o concreto até suportaria a ação destrutiva da colisão, mas não tem capacidade de absorver o impacto deformando e dissipando a energia da colisão,

A variação da força de reação ao impacto ao longo do tempo tem variação expressiva no instante imediatamente após o impacto, e depois tem comportamento que varia em função das características estruturais voltadas à dissipação de energia pelos materiais que colidem.

A Figura 5, apresenta três gráficos que definem o comportamento da força de impacto provocado por veículo pesado se deslocando a 85 km/h, contra estruturas de concreto do tipo pilares de sustentação de ponte rodoviária, com diâmetro variando de 60, 90 a 120 cm.

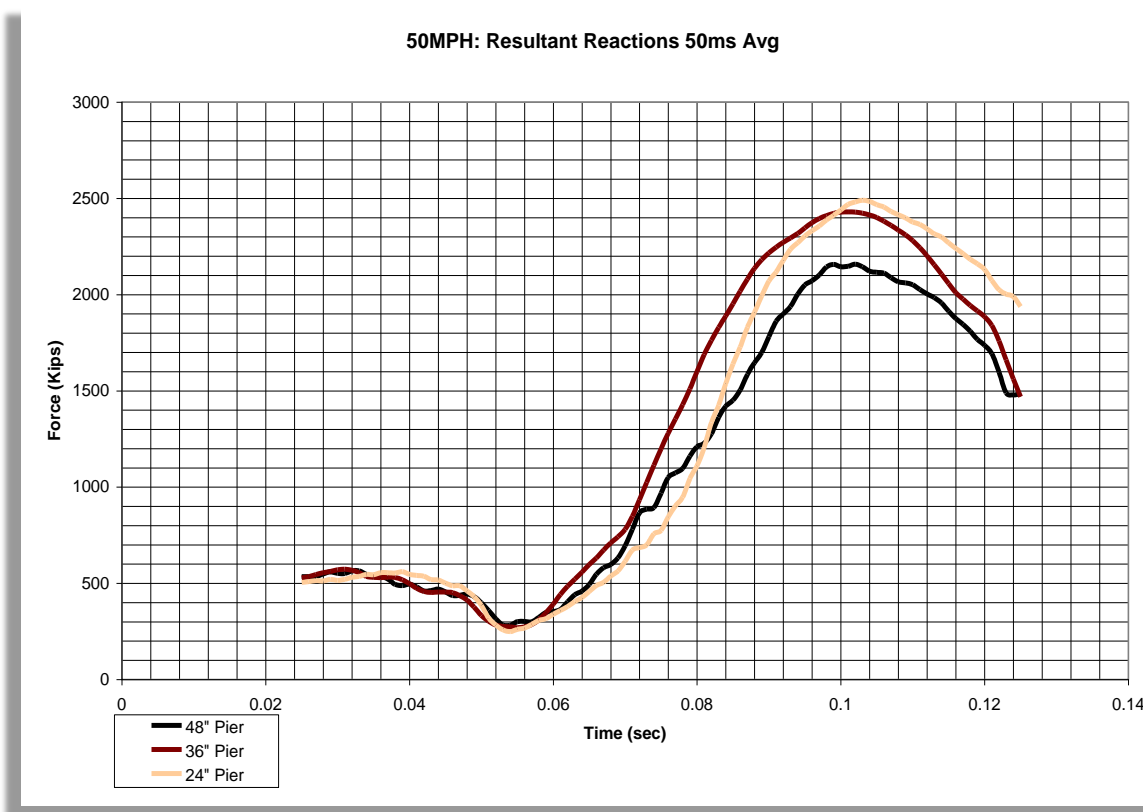


Figura 5: Gráfico da reação ao impacto para pilares de estrutura de ponte de concreto com diâmetro variando de 60, 90 e 120 cm

O pico de energia é alcançado no intervalo de tempo de 0,1s após a colisão do veículo contra a superfície de concreto do pilar. Foi observado por Buth *et al.* (2011), que para a mesma velocidade de deslocamento, quanto maior o diâmetro do pilar menor a intensidade da reação ao impacto. Ou seja, as estruturas de concreto robustas, apresentam maior poder de absorção de energia, reduzindo assim a força de reação e apresentando tendência para maior proteção aos ocupantes do veículo.

No gráfico da Figura 6 apresentado por Buth *et al.* (2011), foi associado à força de compressão gerada pela energia cinética obtida nas velocidades de 68 e 85 km/h, para colisão contra pilar de concreto armado de $\varnothing = 90$ cm.

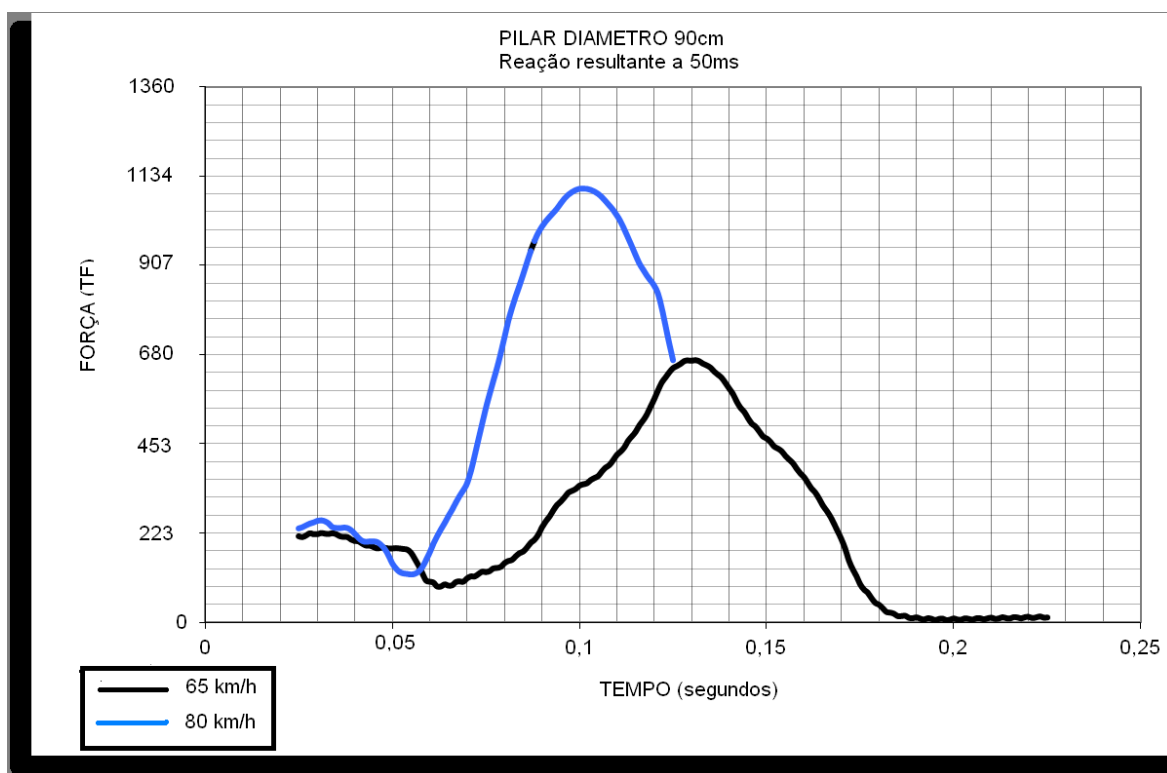


Figura 6: Gráfico da força de reação do pilar de concreto de seção circular de diâmetro 90 cm para velocidades de impacto entre 68 e 85 km/h

No gráfico da Figura 6, foi mantido constante o diâmetro do pilar em 90 cm, variando somente a velocidade entre 68 a 85 km/h, sendo observado que o pico de energia inicial aumentou, não de forma proporcional, mas de acordo com o acréscimo da velocidade para o mesmo deslocamento de massa. Como, também,

a reação da estrutura de concreto quanto à absorção da energia é mais rápida, ou seja, conforme aumenta a velocidade de colisão, o tempo de reação à força de impacto fica menor, exigindo maior poder de dissipação de energia ou amortecimento por parte da estrutura de concreto.

O fenômeno de dissipação de energia da colisão sobre a estrutura de concreto do tipo pilar de ponte rodoviária pode ser descrito conforme pontos enumerados:

- Com diminuição da velocidade, decresce a energia cinética do impacto;
- Para uma mesma inércia (peso do corpo), quanto maior a energia de colisão menor o tempo de reação ao impacto, exigindo do material que compõem a estrutura um alto poder de dissipação de energia, por isso é que ocorre o aumento o tempo de reação de 0,10s para 0,13s quando a velocidade reduz de 85 para 68 Km/h;
- o aumento no tempo de reação a força de impacto de 0,10s para 0,13s, teve relação com a deformação mais lenta da estrutura do veículo, decorrente da menor energia cinética gerada por menores velocidades;
- a medida que reduz a energia cinética (decréscimo de velocidade de 85 para 68 km/h), a força de impacto reduz e o concreto do pilar passa a ter inércia suficiente para resistir ao impacto. Isto gerou uma força de reação no sentido oposto, que atua sobre a estrutura do veículo impactante, instantânea e intensa, que é rapidamente dissipada pela deformação da estrutura do veículo.

No desenho da Figura 7 está representado o desenvolvimento da reação ao impacto ao longo do tempo, o primeiro pico de energia que ocorre aos 0,025 s após início de ação da força gerada com a colisão, sendo o pico máximo no tempo de 0,10 s. O intervalo de tempo de 0,075 s entre os dois picos de energia, representa o tempo que a estrutura do caminhão e o pilar de concreto estiveram em contato, equilibrando suas forças, ou seja, quando ocorre o amortecimento com a deformação da estrutura do caminhão, até atingir o ponto de deformação máxima experimentada pelos materiais.

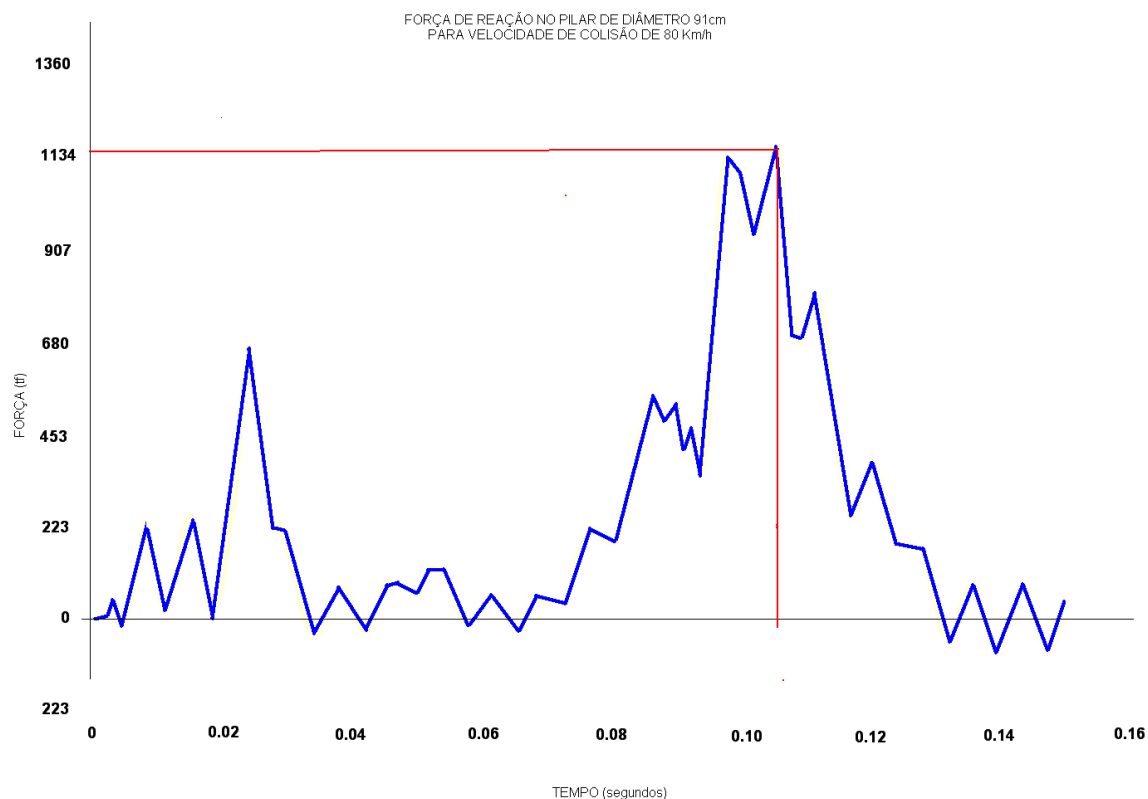


Figura 7: Gráfico dos picos de energia durante ação da força do impacto sobre pilar de concreto circular de diâmetro 90 cm

Sendo o ponto (A) no tempo de 0,025 s, quando ocorre o primeiro contato do paracheque do caminhão com a superfície do pilar de concreto, entre o ponto (A) e o ponto (B) marcado para o tempo de 0,10 s, o pilar de concreto oferece a resistência à passagem do caminhão. Neste intervalo de tempo ocorre a deformação do material de configuração estrutural menos resistente. Do ponto (B) em 0,10 s até o ponto de repouso dos corpos, no tempo de 0,14 s, decorre um curto intervalo de tempo, quando os corpos se movimentaram com a mesma velocidade, ocorrendo o deslocamento (araste) do corpo de menor inércia, até a dissipação total da energia e paralisação do movimento.

O desenho da Figura 8 representa a distribuição da força de impacto em várias seções do pilar. Os pontos que absorvem menor intensidade estão mais afastados do centro de aplicação da força de colisão, à medida que se aproxima

do centro de gravidade da fachada do caminhão, onde ocorreu o contato principal com a estrutura do pilar de concreto. Neste ponto a força de impacto atingiu a intensidade máxima. O que pode ser concluído é que a estrutura de concreto será solicitada à compressão pontual máxima e ao cisalhamento em uma única seção, correspondente ao ponto de contato principal, onde ocorre a transferência de toda a força do impacto para a estrutura de concreto do pilar.

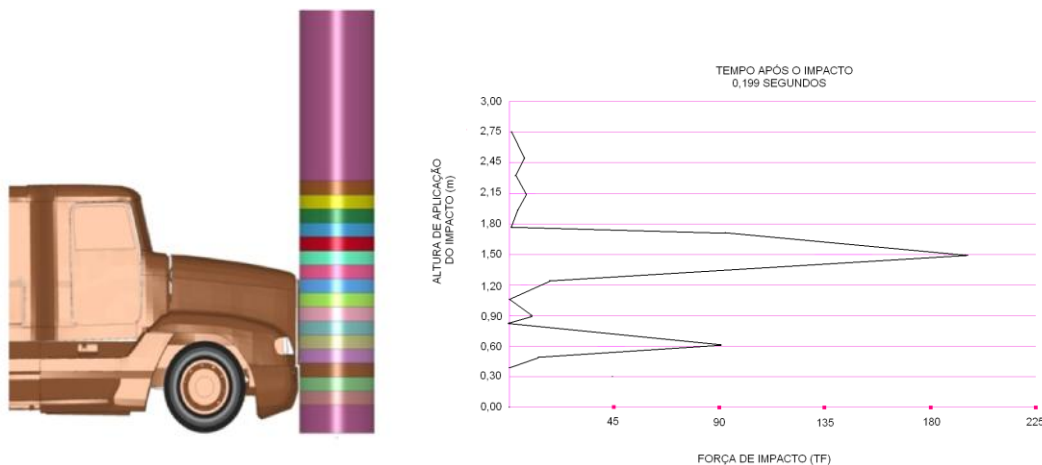


Figura 8: Diagrama de distribuição da força do impacto em relação ao ponto de contato entre veículo (caminhão) e o pilar de concreto de ponte

Situação que pode ser representada pelo comprimento da onda de impacto longitudinal (primária) e transversal (secundária) que se deslocam pela superfície e interior da estrutura, com maior velocidade em estruturas mais densas, ou menos impactadas pela ação da velocidade de propagação da onda de tensão em corpos heterogêneos. Servindo também a representação das ondas de impacto para auxiliar na avaliação das propriedades elásticas do material, pela análise espectral entre dois pontos da estrutura, com captação do comprimento de onda e do tempo de resposta necessário para o deslocamento (METHA e MONTEIRO, 2008).

Como já afirmado por Buth *et al.* (2011), existe uma restrição de ordem financeira e de segurança para realização dos ensaios do tipo “crash test”, pela magnitude dos esforços envolvidos, quando a simulação utilizando-se da técnica dos elementos finitos surge como solução confiável, pois além de apresentar

respostas que servem como referência para execução dos ensaios de campo, geram economia alertando sobre a existência de riscos.

Segundo Borovins'ek *et al.* (2007), a desaceleração de um veículo de passeio com massa de 900 kg em situação de colisão é mais elevada do que um veículo pesado de 25.000 kg. Por isso ensaios de "crash test" são realizados inicialmente em escala real com veículos leves, para determinar a gravidade do impacto sobre a barreira de segurança, e depois seguem os testes com equipamentos de maior massa, para definir a força e a deformação máxima que a barreira de proteção pode suportar.

Testes de impacto na Europa atendem a rigorosos padrões de segurança, ditados pela norma DIN EN1317-5: 2012 - Sistemas Rodoviários de Contenção. Parte 5: requisitos do produto, procedimentos de avaliação da conformidade dos sistemas de retenção de veículos. Nesta, norma está a recomendação de uma série de requisitos com grau de certificação elevado, para aprovação de novos sistemas de proteção (BOROVINS'EK *et al.* 2007).

2.7 APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO MATEMÁTICA

A importância do uso da simulação obtida a partir de dados que alimentam sistemas de computação se torna cada vez mais confiáveis, segundo Borovins'ek *et al.* (2007), em substituição aos ensaios experimentais em escala real. Quando parâmetros são monitorados, variações de até 10% em relação aos resultados da simulação computacional podem ser consideradas aceitáveis, pois existem variáveis que dificilmente serão parametrizadas, como por exemplo, a eficiência do sistema de amortecimento do veículo, condições atmosféricas adversas como: temperatura, umidade e ventos no instante da realização do ensaio, podem interferir na velocidade de deslocamento e na condição de atrito entre os pneus e o terreno (BOROVINS'EK, *et al.* 2007).

Para Ren e Vesenjok (2005), os padrões de construção das novas estradas na Alemanha estão avançando no sentido de aumentar a segurança dos usuários

e a conscientização dos motoristas para fatores que contribuem para causas dos acidentes, mudança de comportamento que gera economia nos gastos públicos.

O diferencial em executar testes experimentais após o conhecimento dos parâmetros obtidos com os resultados oriundos das simulações computacionais, é que a linha de referência que aponta para direção dos resultados já está traçada. Os experimentos são executados auxiliados por um sistema de controle, que regula custos e acelera o alcance das metas, gerando espírito de confiança entre os pesquisadores com a validação dos resultados, o que serve como incentivo para avanço em novas áreas de pesquisas.

Conforme Francisco e Da Silva (2010), com a simulação matemática foi possível estimar que a partir da velocidade 50 Km/h, a força de colisão tem poder destrutivo para desagregar a estrutura de concreto com 30 mm de espessura e 30 MPa de resistência a compressão axial, deixando exposta a armadura de aço, como apresentado na Figura 9.

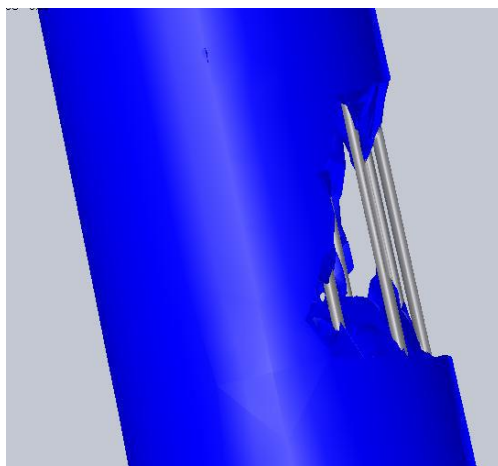


Figura 9: Estrutura do pilar de concreto fraturado pela força do impacto veicular, sem acessório de proteção

Utilizando-se da simulação matemática, foi projetado um coeficiente de segurança (s) referenciado para velocidade de impacto, significa que estrutura de concreto com coeficiente $s \geq 1$, não suportaria a ação destrutiva do impacto, independente da resistência estrutural do concreto até espessura de 30 mm. Somente aumentando a espessura do concreto, é que seria absorvida a parte da

força do impacto, quando passaria a ser verificada a ação do efeito inércia do concreto e à medida que se aumenta a espessura do concreto, aumentaria-se a inércia, o que evitaria a ruína prematura da estrutura.

Na Figura 10, a representação gráfica da variação do coeficiente de segurança (s) para velocidade de 50 km/h, significa que para $s = 1,0$ a estrutura de concreto suporta a deformação, já, para valores acima da unidade, a estrutura teria a superfície de concreto danificada pela força da colisão, que desagrega até a profundidade de 31 mm a espessura da parede de concreto. Correspondendo a camada externa que envolve a armadura denominada de recobrimento, nesta condição seria totalmente danificada a estrutura principal, deixando a armadura de aço longitudinal exposta, comprometendo a resistência estrutural do poste (FRANCISCO e Da SILVA, 2010).

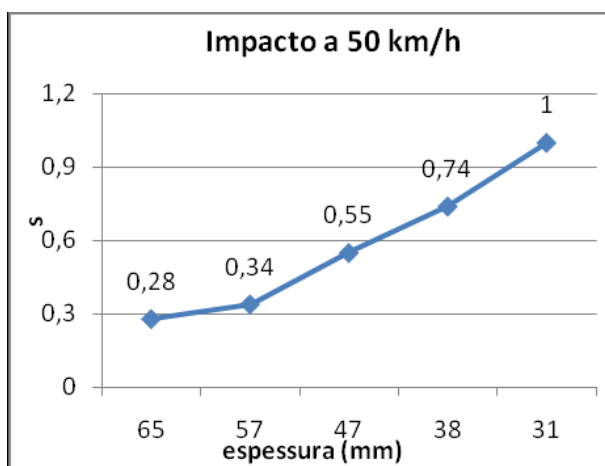


Figura 10: Gráfico da variação do fator de segurança (s) x espessura da camada de cobrimento de poste de concreto

No estudo apresentado por Consolazio *et al.* (2003), também ficou evidente a importância da simulação utilizando as técnicas de modelagem por elementos finitos, o que propiciou a edição de uma série completa de simulações alterando a velocidade inicial, o ângulo de impacto e o tipo de veículo (pequeno e médio).

Considerando que a execução deste tipo de experimento em escala real, necessita de um site especialmente preparado, o que demanda recursos

financeiros e humanos, mais uma vez prova que simulações de modelos computacionais propiciam economia ao projeto.

2.8 COLISÕES CONTRA POSTES DE CONCRETO

Para o caso do Brasil a realidade é diferente, pois a partir de 2010, algumas das principais cidades brasileiras se transformaram em verdadeiras Metrôpoles, como consequências estão atingindo o limite no número de veículos transitando com segurança no sistema viário.

Como consequência deste excesso de veículos associada à imprudência no trânsito e pouca ação da justiça na punição das infrações de trânsito, algumas ruas são consideradas verdadeiras campeãs de acidentes de trânsito, onde a colisão veicular contra postes é frequente, necessitando, neste caso, de uma solução técnica para aumentar a segurança dos usuários e reduzir transtornos envolvendo a RDE.

Nas Figura 11 e 12, estão exemplos da destruição provocada pela colisão veicular contra poste de concreto nas vias públicas, numa das cidades turísticas do nordeste do Brasil. Já na Figura 13, o problema ocorre na região Sul do Brasil, resultando em danos materiais e interrompendo o fornecimento de energia elétrica, em função da queda do poste sobre o veículo que provocou a colisão.



Figura 11: Estrutura de concreto de poste da RDE danificada pela colisão veicular



Figura 12: Danos ao veículo após colisão contra poste de concreto da RDE



Figura 13: Colisão seguida de queda do poste de concreto da RDE sobre o veículo em via pública

Existem duas situações resultantes de acidente gerado pela colisão contra poste de concreto que obrigatoriamente devem ser atendidas, para maior segurança dos usuários e redução de perdas:

- 1) evitar a interrupção do fornecimento de energia elétrica em áreas urbanizadas;
- 2) garantir que o acidente não se agrave, pela queda do poste sobre pedestres ou ocupantes dos veículos.

Ambas as situações estão associadas a transtornos muito maiores do que a própria colisão do veículo contra o poste de concreto, ou seja, os prejuízos causados pela falta de energia a inúmeros estabelecimentos e demandas judiciais, decorrentes de ações para ressarcimento de danos materiais, danos pessoais por invalidez ou morte das vítimas, são infinitamente superiores.

Para Ivey e La Belle (1999), fatores externos devem ser considerados na escolha do material e processo de fabricação do dispositivo de segurança. Para garantia de eficiência de acordo com o projeto, que tem como meta manter a estrutura do poste estável, priorizando a segurança das pessoas e evitando perdas decorrentes da interrupção no fornecimento de energia, foram identificadas demandas apresentadas pelas equipes de manutenção das RDE:

- 1) a instalação do dispositivo de proteção não deve estar vinculada ao emprego de equipamentos de grande porte, para não limitar o acesso em determinadas áreas;
- 2) não é aconselhável que o material tenha resistência mecânica superior ao concreto armado, pois materiais rígidos não absorvem energia, potencializando o efeito destrutivo da força de reação;
- 3) deve ser constituído de material e formato que absorva ou dissipe parte da energia gerada pelo impacto, com objetivo de reduzir a força de reação sobre o veículo e seus ocupantes, minimizando os danos;
- 4) deve ser de fácil adaptação no poste de concreto, tanto para seção transversal duplo T como a circular, não oferecendo restrição ao uso pelas concessionárias;
- 5) deve ser constituído de material que não contamine o solo e nem as águas subterrâneas, uma vez que a posição de instalação prevê o contato direto com o terreno;
- 6) o produto deve promover a proteção do poste por meio de amortecimento com materiais de elevado poder de deformação, evitando que a estrutura de concreto tenha forte interação com as ondas de impacto;
- 7) deve ser constituído por material de fácil aquisição no mercado interno, baixo interesse para reciclagem e com reduzido custo para transporte;
- 8) deve ser de fácil remoção do terreno quando danificado;
- 9) possuir resistência à umidade e ao dióxido de carbono (CO₂), elementos presentes na atmosfera urbana;
- 10) deve resistir aos ambientes com elevado teor de sais, sulfatos e carbonatos, como o caso de solos em regiões litorâneas e áreas de aterros sanitários.

Procurando atender as demandas e direcionado por estudos realizados na revisão bibliográfica, foi identificado um material que associa fios de fibra de vidro e resina de poliéster, fabricado em escala industrial, de fácil obtenção no mercado interno e capaz de desempenhar a maioria das exigências, que será descrito no subitem 2.9 a seguir.

2.9 POLIÉSTER REFORÇADO COM FIOS DE FIBRA DE VIDRO (PRFV)

Inicialmente, este material foi desenvolvido para ser utilizado na moldagem de tubos para rede de água e esgoto com diâmetro superior a 1,0 m, resultando numa estrutura resistente ao esmagamento sem o aumento expressivo no peso, quando comparada às peças moldadas em concreto ou metal, de mesma dimensão e funcionalidade.

Como diferencial a resistência mecânica aos esforços de tração na flexão das peças com espessura de parede relativamente finas, o material escolhido como matéria prima para fabricação do dispositivo de proteção, apresenta excelente resistência às condições de agressividade química. Sendo projetado para condução das águas servidas em redes de esgoto, onde a presença de componentes químicos em concentrações desconhecidas é bastante comum, como também, as redes de águas tratadas com cloro e outros elementos químicos, altamente corrosivos.

Para a situação de agressividade química, tanto o concreto como o metal, apresentam sérias restrições de uso sem proteção, limitando o emprego para determinadas situações, além de torná-lo com custo final elevado.

Alguns fatores chamaram a atenção para o desenvolvimento da luva de proteção a partir do tubo, confeccionado à base de fios de fibra de vidro entrelaçados e impregnados em resina poliéster, denominado de tubo de PRFV, entre eles estão relacionados:

1) a produção a partir de um molde metálico adaptado a um processo rotativo de produção contínua, conhecido como “filamento winding”, que consiste no

enrolamento em mandril giratório de fios contínuos de fibra de vidro, impregnados e entrelaçados com resina poliésteres.

2) tem o acabamento constituído por uma camada de resina e aditivos que conferem resistência às intempéries e raios UV. Na Figura 14, está ilustrado o processo de enrolamento utilizado para produção dos tubos à base de PRFV (ALMACO, 2012);



Figura 14: Fabricação de tubos de PRFV através do processo contínuo denominado de “Filamento Winding”

3) a quantidade de resina poliéster, ou seja, espessura da camada, juntamente com as fibras de vidro entrelaçadas, proporcionam à luva de proteção excelente resistência mecânica, com características inertes aos agentes corrosivos. Os fios de fibra de vidro contínuos são responsáveis pela resistência mecânica à tração, variando conforme inclinação do enrolamento helicoidal (ALMACO, 2012);

4) as peças são moldadas com até 12 m de comprimento, os diâmetros variando até 2,0 m, sendo a cura por secagem de 07 (sete) dias à temperatura ambiente, quando já podem receber carregamentos e após 10 dias quando recebem acabamento de pintura superficial (PETROFISA, 2013);

5) pode ser facilmente cortado utilizando serra circular manual com disco de vídia, atenção especial para não aspirar a névoa resultante do processo de corte da fibra;

- 6) a elevada resistência aos esforços de flexão está em função da estrutura ser constituída pelo trançado de fios de fibra de vidro, impregnados em resina poliéster, que por serem enrolados no molde rotativo formando ângulo que varia de 30° a 60° com o eixo do mandril, determinam a resistência mecânica desejada. Podendo atingir a carga de ruptura à flexão no ensaio de elasticidade em bancada até o triplo do valor da resistência nominal de 100 kgf/cm² obtida na flexão;
- 7) apresenta baixa densidade o que facilita o transporte, peças com até 3,0 m de comprimento não necessitam de equipamento especial para movimentação, sendo benéfico para a condição de montagem no campo;
- 8) quando as extremidades estão fechadas flutua sobre a água podendo ser transportado para outras regiões via fluvial, com o simples reboque, utilizando o próprio material como elemento flutuador;
- 9) a união gerada pelos fios de fibra de vidro saturados em resina poliéster, confere impermeabilidade, não contaminando as águas do subsolo, tendo a durabilidade estimada para período superior a 50 anos (PETROFISA, 2013);
- 10) apresenta adesão superficial a outros substratos, permitindo a junção, por exemplo, durante o processo de fabricação com lâminas ou telas de aço para fortalecer a estrutura da parede contra o cisalhamento;
- 11) a superfície lisa aceita acabamento superficial como pintura de sinalização, como também, adição de grãos de areia durante o processo de moldagem, para tornar a superfície mais áspera e aderente;
- 12) o estoque das peças pode ser ao ar livre, pela resistência à ação dos agentes de deterioração atmosférica, uma vez que a resina poliéster tem proteção contra raios UV;
- 13) depois de moldado não tem valor comercial para revenda como material reciclável, não sendo alvo para furtos;
- 14) tem resistência ao vandalismo por apresentar na sua constituição fibra de vidro e resinas que após o endurecimento formam uma camada densa e resistente;

15) tem resistência à água salina, o que se traduz em grande vantagem frente a outros materiais, como o concreto e os metais, podendo ser utilizado em locais com cloretos concentrados;

16) tem resistência à propagação de fogo, o que é positivo no caso de incêndio provocado pelo vazamento de combustível, que pode ocorrer em decorrência da colisão do veículo contra o poste de concreto.

Em função dos diferenciais apresentados, quando comparados aos materiais comumente empregados para a confecção de luvas, como metal, madeira, PVC, concreto, cerâmica e gesso, o polímero a base de PRFV se destaca, sendo a opção escolhida para confecção da luva de proteção contra impactos veiculares.

Na presente pesquisa foi avaliado o comportamento do dispositivo de proteção, luva moldada em PRFV, adaptados aos postes de concreto, para ensaios de resistência ao impacto veicular, em local preparado para este fim.

Como a luva de proteção faz interface com o solo na parte enterrada, é importante observar como interage com o substrato. O impacto provocado pelo veículo sobre a luva de proteção produz uma onda de energia que se propaga até o solo, sendo assim, este é parte integrante do sistema responsável por dissipar a energia gerada. Contudo não foi o objetivo avaliar o fenômeno da transferência da energia da colisão dissipada no solo.

A parcela de energia que não é direcionada para o solo, parte é consumida pela deformação do veículo ao colidir e parte será absorvida pela estrutura de concreto do poste. Como o foco foi preservar a estrutura de concreto, além de minimizar os danos materiais priorizando a segurança. Tem-se como meta entender o fenômeno da colisão, quais suas consequências sobre a estrutura de concreto do poste empregado nas RDE, para orientar na definição do sistema de proteção contra impacto veicular.

2.10 ESTRUTURAS DE CONCRETO CONTRA IMPACTO

Na pesquisa de Thilakarathana *et al.* (2010) foi desenvolvido um protótipo para carregamento de vigas de concreto circular de diâmetros de 300 a 600 mm, atuando com carregamento constante de compressão centrada, sujeito em uma pequena área por uma carga lateral, onde foi aplicado um pulso de compressão instantânea que representava a força de colisão, este conjunto tinha como objetivo reproduzir o fenômeno que ocorre no evento de colisão veicular contra colunas de concreto carregadas axialmente.

A partir deste estudo Thilakarathana, *et al.* (2010), propuseram estabelecer uma relação de comportamento da estrutura de concreto armado, frente aos esforços gerados com a ação do impulso e da inércia a partir da análise das deformações. Foi identificado que nas estruturas de concretos envolvidas em colisão veicular, a ação do carregamento ocorre pela exposição com esforços de grande intensidade por curtíssimo período de tempo.

Dentre as observações realizadas por Thilakarathana, *et al.* (2010), tem-se que as características de confinamento desenvolvidas em estruturas com carregamentos centrados podem ser equiparadas para carregamentos excêntricos, particularmente as de concreto produzidas com baixos valores de resistência à compressão, neste caso inferiores a 56 MPa.

Foi assumido que o decréscimo da resistência ao impacto tem vínculo com as condições do carregamento confinado, e não em função da variação do gradiente de deformação, pois quanto maior o confinamento maior a resistência à compressão axial e menor é o módulo de deformação da estrutura.

Quando o pilar de concreto está sujeito à ação da força lateral de impacto, o conjunto tende a flexionar deformando, gerando compressão e tração sobre a estrutura de concreto confinada na parte interna. As fissuras superficiais surgem no concreto decorrente da ação das forças, que auxiliam minimizando a tensão gerada com impacto, contribuindo para dissipar parte da energia absorvida.

Estas observações induziram Thilakarathana *et al.* (2010) a afirmar que melhoria na vulnerabilidade estrutural ao impacto independe da concentração de cargas de compressão, portanto, podem ser aplicadas as mesmas técnicas para reforço ao impacto em estruturas sujeitas aos carregamentos excêntricos, pois com o confinamento das cargas de compressão se admite a distribuição de tensões como uniforme em todas as seções.

No estudo da vulnerabilidade de estruturas de concreto ao impacto Thilakarathana, *et al.* (2010) observou que pilares atuando com carregamento de compressão axial confinado, equivalente ao peso de 05 pavimentos de um prédio residencial, a estrutura de concreto armado de um pilar com diâmetro inferior a 340 mm, dificilmente resiste ao impacto veicular para velocidades superiores a 40 km/h.

A força gerada pelo impacto veicular pode ser teoricamente comparada a uma espécie de carregamento quase estático, onde a resposta ao impacto aparece com a sensação de um impulso intenso e muito rápido. No estudo de Topçu e Avcular (1997), os efeitos dinâmicos da colisão de veículos sobre estruturas apoiadas tipo concreto massa (muretas em rodovias), são avaliadas pelo exame dos efeitos estáticos, sendo o contato entre os corpos referenciado como uma colisão plástica, ou seja, com deformação residual dos materiais (amassamento).

Assumindo-se que a massa dos objetos ao colidirem movimenta-se com a mesma velocidade, a energia cinética desenvolvida pelo veículo após o momento do impacto, se transforma em deformação concentrada sob a estrutura de concreto. A colisão, a partir do contato entre os materiais deve ser tratada como um problema cine-elástico, quando passa a atuar propriedades mecânicas dos materiais para dissipar a energia gerada com o impacto. A deformação e a tensão no estado de movimento são obtidas pela sua multiplicação por um coeficiente dinâmico, que é atribuído como constante para cada material. Este é obtido a partir de grandezas como: módulo de elasticidade, massa deslocada para promover o impacto (massa estática), área da superfície de contato entre corpos,

deformação da massa estática (amassamento), deslocamento gerado pela energia do impacto (trabalho) e o coeficiente de perda de energia, baseado no módulo de elasticidade e deformação dos materiais (TOPÇU e AVCULAR, 1977).

A partir de ensaios com corpos de prova cilíndricos de aço e concreto Topçu e Avcular (1997) confirmaram a obtenção de elevados índices de resistência ao impacto relacionado com valores do módulo de elasticidade e resistência à compressão respectivamente. Com a determinação do índice de deformação dinâmica para cada material, obtido por meio da comparação entre tensão dinâmica de corpos de prova cilíndricos com concreto de referência e outros materiais, todos utilizados como elemento para absorção de energia, servindo de parâmetro para comparação com as deformações ocorridas no corpo de prova de aço.

Este fator quanto mais próximo da unidade, maior a resistência do material ao impacto, como consequência, menor poder de absorção de energia. Para o caso da proteção da estrutura de concreto ao impacto, uma atenção especial deve ser dada para definição do índice de deformação dinâmico, uma vez que é importante dissipar energia cinética com adoção de materiais e estruturas deformáveis.

Torna-se fundamental a adoção de materiais com módulo de elasticidade e resistência a compressão conhecidos, e muito próximos do ideal, a fim de realmente minimizar os efeitos do impacto sobre a estrutura de concreto.

Segundo Ramamurthy *et al.* (2009) o módulo de elasticidade do concreto poroso é sensivelmente menor do que o concreto normal, como também em relação ao concreto produzido com agregados leves, variando de 1,0 a 8,0 kN/mm² para densidades de 500 a 1500 kg/m³, o que poderia ser favorável para a dissipação de energia.

Quando a comparação tem como referência a resistência à compressão, o valor do módulo de elasticidade do concreto normal é 4 vezes maior do que o concreto poroso para uma dada resistência, ou seja, a deformação do concreto poroso é menos expressiva em relação ao concreto normal. O concreto poroso em

função da baixa densidade apresenta valores de resistência mecânica limitada, não se caracteriza como um bom material para dissipar energia proveniente da colisão veicular.

De acordo com as pesquisas envolvendo as propriedades do concreto poroso, realizada por Ramamurthy *et al.* (2009), a adição de sílica na composição da pasta de cimento produziu uma redução no valor do módulo de elasticidade em comparação com o concreto poroso produzido a partir de argamassa com areia fina como agregado, pois, a distribuição de vazios na argamassa com areia fina é mais uniforme, contribuindo para dissipação de energia interna, enquanto que as misturas com sílica contém mais pasta de cimento, o que reduz a porosidade.

Um aumento na capacidade de deformação do concreto poroso com mesma resistência a compressão foi observado quando a argamassa foi produzida com areia fina em relação à argamassa com areia grossa, porque a areia grossa gera uma argamassa com poros maiores e irregulares, que para dissipação de energia gera concentração de tensões devido à descontinuidade interna, levando a estrutura à fratura e consequente perda de resistência à compressão do concreto (RAMAMURTHY *et al.* (2009).

Diferente do comportamento conhecido dos concretos normais, não ocorreu um aumento da resistência à compressão em concretos porosos com adição de sílica ou filler nas misturas com baixa densidade (elevado índice de poros), pois a densidade do material isolada não regula o comportamento da resistência à compressão para concreto poroso, e sim o tamanho e homogeneidade dos poros.

Já, para a deformação decorrente do esforço de flexão e tração, o concreto poroso apresentou melhor resultado quando a mistura foi realizada com areia fina em relação à pasta com sílica, provavelmente pela maior capacidade de suportar cisalhamento com areia. Ocorreu, também, aumento no esforço de tração quando adicionado fibra de polipropileno, o que não afetou o comportamento quanto à

trabalhabilidade no estado fresco, mantendo a facilidade de acomodação e compactação no interior das formas.

Na pesquisa realizada por Remennikov *et al.* (2013), foi modelado experimentalmente teste de resistência ao impacto em estruturas de concreto fixa sujeita a carregamentos de grande intensidade com baixa duração, simulando impactos de veículos em estruturas de concreto revestidas com chapas metálicas de 3,0 mm de espessura, uma espécie de sanduiche de aço-concreto-aço, com interior preenchido com concreto de resistências diferentes (04 traços específicos), para avaliar a influência do reforço das lâminas de aço e o comportamento do concreto no núcleo do sanduiche.

Remennikov *et al.* (2013) identificaram que o esforço que gera deformação na estrutura, caracteriza o comportamento do material em três momentos distintos: a inércia inicial que consome grande parte da energia cinética do movimento pela resistência ao deslocamento, em seguida passa a atuar o esforço de flexão sobre os painéis de aço, que ao deformar sem acusar aumento no carregamento transferem esforço de flexão ao concreto do núcleo e finalmente num terceiro momento a resistência do concreto à compressão no núcleo passa a ser solicitada durante a flexão dos painéis metálicos. Num terceiro momento, o núcleo composto por materiais com menores valores de resistência a compressão se comportaram melhor. Demonstraram maior capacidade em acompanhar as deformações ocorridas, oferecendo menor resistência ao deslocamento inicial (inércia), que foi caracterizado pelo melhor comportamento do núcleo de concreto com agregado leve, ao suportar melhor a compressão associada a flexão não se fragmentando em pedaços pequenos, característica de estilhaçamento como ocorreu com o núcleo de concreto de alta resistência.

Este fenômeno tem duração da ordem de 0,01s. O esforço de flexão da estrutura de concreto deforma conforme as leis da resistência dos materiais quando tracionado conduzindo o concreto à ruína. No gráfico da Figura 15, estão apresentadas três fases do fenômeno de deformação que ocorre nos materiais

que experimentam a ação da força de impacto, segundo (Remennikov *et al.* (2013)):

- 1) inércia ao deslocamento do corpo em repouso ou de menor velocidade no momento da colisão;
- 2) deformação com ação das propriedades mecânicas dos materiais para absorção da energia;
- 3) por último, visivelmente demonstrada pelo amassamento da superfície dos corpos em caso de materiais com ductilidade e ruptura em caso de corpos mais rígidos.

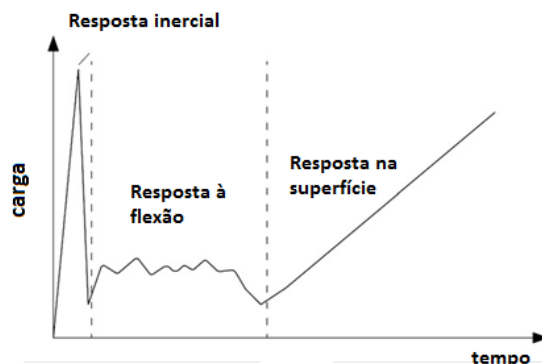


Figura 15: Variação da intensidade do carregamento ao longo do tempo para pilar com estrutura de proteção do tipo aço-concreto-aço

Fazendo um paralelo, para a determinação do comportamento da luva de proteção conforme demonstrado nas pesquisas estudadas, pode-se afirmar que a luva externamente necessita primeiro ter uma elevada resistência ao esforço cortante e à compressão localizada no ponto de contato entre os corpos (veículo de carga e poste). Quando o fenômeno é comandado pelo princípio da inércia ao movimento sobre o corpo em repouso, de curtíssima duração.

Num segundo momento passa a ser importante as propriedades mecânicas dos materiais, ênfase ao grande poder de deformação por flexão e compressão, que podem promover a dissipação de energia cinética, gerando amassamento característico na superfície da luva e comprimindo o material de enchimento interno. O ideal seria que esta deformação fosse suficiente para absorver toda a

energia da colisão e ainda promover uma reação de descompressão, evitando o contato contra a superfície de concreto do poste.

Caso não seja consumida toda a energia com a compressão dos materiais de enchimento e do material da luva externa, a estrutura de concreto deveria ter capacidade para suportar o esforço de compressão localizada sem entrar em ruína, evitando a queda e ruptura dos cabos da rede de energia, como também aumentando a segurança.

Com o sistema de proteção contra impacto testado e aprovado, fica definido que sua aplicação estaria indicada para locais especiais, onde os postes de concreto das RDEs, demonstrado por dados estatísticos, teriam a necessidade de uma proteção extra.

2.11 EMENDAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

As estruturas de concreto apresentam características que avaliadas sob a ótica da estabilidade e rigidez são imbatíveis em relação a outros materiais (MEHTA, 1995). Porém, quando analisada em relação ao transporte e manuseio, pode se considerada uma limitação, sendo o peso próprio o responsável por esta deficiência, pois as estruturas pré-moldadas de concreto necessitam de equipamentos mecânicos para a movimentação, inclusive durante o processo de fabricação.

A utilização de equipamentos para movimentação das peças algumas vezes não podem ser atendidas nas operações de montagem em campo, sendo esta a característica do problema que foi avaliado nesta etapa da pesquisa, ou seja, como executar os trabalhos de movimentação horizontal e montagem em locais de difícil acesso, sem utilização de veículos como caminhões “munck”.

A solução mais simples é utilizar postes padrões de concreto armado das RDE em módulos, promovendo redução no peso e tamanho, o que facilitaria a mobilidade das peças em espaços reduzidos.

As operações de içamento poderiam ser realizadas utilizando ferramentas manuais, com veículos de menor capacidade de carga, o transporte em terrenos de topografia acidentada (alagadiços e encostas de morros) com menor número de operários, do que se estivesse instalando peças inteiras de comprimento 10,50 m e massa de 500 a 600 kg.

A transferência dos esforços decorrente das operações de içamento envolvidos no transporte e na montagem geram deformações estruturais mais intensas do que as definidas na norma técnica NBR 8451-2: 2013, que definem parâmetros de dimensionamento das estruturas de concreto que sustentam as RDE. Esta situação caracteriza-se como a principal barreira a ser vencida pelos métodos de emendas previstos para as estruturas de concreto na norma NBR 9062:2006 (Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado).

Conforme o item 7.2.2.5 Dispositivos Especiais, previsto na norma NBR 9062 a execução de emendas em estruturas de concreto, devem obedecer alguns critérios, descritos nos itens:

- 5.1) Podem ser utilizados dispositivos metálicos devidamente fixados no concreto em elementos suspensos constituídos por placas, barras, parafusos e perfis laminados dobrados ligados por parafusos, porcas, soldas e rebites, desde que comprovada sua eficiência e segurança;
- 5.2) Estes dispositivos devem ser projetados de forma a permitir a ligação das partes constituintes dos elementos pré-moldados dentro das tolerâncias admitidas;
- 5.3) Quando não existe norma pertinente à eficácia e durabilidade, os sistemas devem ser comprovados por verificação experimental;
- 5.4) As resinas adesivas e chumbadores mecânicos podem ser utilizadas em ligações, respeitando distâncias mínimas da borda, bem como verificado o efeito do cone de arrancamento.

Também na mesma norma da ABNT, está previsto verificações em peças solicitadas predominantemente por flexão, em qualquer caso exige-se a

verificação da resistência da seção emendada ao esforço cortante (cisalhamento), descrito no subitem 7.2.3.2.

Para Braga (2006), todo o dimensionamento das estruturas mistas é baseado na ação conjunta entre o perfil de aço e o concreto, logo, a transmissão das forças longitudinais de cisalhamento entre estes dois materiais deve ser garantida.

Existem situações onde as forças são suportadas apenas pela aderência e pelo atrito, porém, quando a aderência e o atrito na superfície aço-concreto não são capazes de suportar tal força, é necessário fazer esta conexão de cisalhamento mecanicamente, com a utilização de conectores de cisalhamento (BRAGA, 2006).

Os conectores de cisalhamento podem ser flexíveis ou rígidos. Esta classificação está associada às características de suas respostas à ação do fluxo de cisalhamento gerado na superfície de contato entre o perfil de aço e o concreto, podendo ser expressa pela relação entre a força no conector e o deslocamento relativo entre os elementos. O conector é considerado rígido quando esta relação for alta e flexível quando esta relação for pequena.

Segundo Braga (2006), um conector flexível com ação de carregamento crescente pode continuar deformando-se após atingir a resistência máxima até a ruptura, permitindo uma redistribuição de esforços com os conectores vizinhos, aproveitando de forma total a eficiência. A flexibilidade do conector garante uma ruptura dúctil da ligação aço-concreto.

Os conectores rígidos têm comportamento do tipo frágil, onde não se verifica a redistribuição de esforços depois de atingida a capacidade máxima do conector mais solicitado (BRAGA, 2006).

Conforme Nardin (1999) *apud* Braga (2006), a ruína de elementos emendados sujeitos a flexão por compressão, caracteriza-se na junta pelo esmagamento do concreto, ocorrendo posteriormente a flambagem local do perfil metálico em diversos pontos. A capacidade resistente prevista por diversas

normas resultou em valores muito próximos dos experimentais, embora várias destas normas não considerem o efeito do confinamento do concreto.

Para Nardin (1999) *apud* Braga (2006) quando se consegue aumentar a resistência de um concreto, tem-se como consequência imediata o aumento de sua fragilidade, deixando o concreto com menor ductilidade, razão pela qual os concretos de alto desempenho não são indicados para confecção de estruturas com certo grau de elasticidade.

Os ensaios mostraram que o efeito de confinamento contribui de forma decisiva na melhoria do comportamento dos materiais, principalmente nas seções circulares. O confinamento promove a ductilidade do concreto, mudando o comportamento frágil, para material com certa ductilidade, entretanto, seus efeitos não são significativos no aumento da capacidade resistente da seção mista.

Para Barbosa (2007) e Gasparim (2008), emendas por transpasse devem ser muito bem elaboradas, respeitando limites previstos pela NBR 6118:2007 quanto a:

- 1) concentração excessiva de armaduras longitudinais no trecho de emenda por transpasse;
- 2) diâmetro máximo das armaduras longitudinais evitando redução do volume de concreto, que deve envolver as barras e garantir resistência por aderência no atrito com as nervuras das barras de aço;
- 3) cuidados com a definição da dosagem do concreto, evitando concentração de agregados graúdos, pois a interface com a argamassa e o agregado é o ponto de menor resistência a tração, preferencialmente dosagens de concretos mais ricos em argamassa apresentam melhor ductilidade, estando mais adequada ao uso para peças estruturais emendadas sujeitas aos esforços de tração na flexão;
- 4) utilização de estribo transversal helicoidal para seção circular ou estribos soldados mais concentrados no terço final da emenda por transpasse, para

aumentar o confinamento suportando os esforços transversais no trecho da emenda.

Buffoni e Silva (2005) propuseram o estudo para contenção da flambagem das armaduras longitudinais em pilares de concreto armado, submetidos a carregamento axial levando em conta o espaçamento entre os estribos, o diâmetro e o arranjo na seção transversal, além do diâmetro das armaduras longitudinais, por ser considerada a participação dos estribos no impedimento à deformação por flambagem negligenciado pelos calculistas brasileiros.

Esta é uma consideração importante, uma vez que no dimensionamento das estruturas de concreto tipo postes para RDE, definidas na NBR 8451-2:2013, não há previsão de armadura transversal mínima para conter esforço de tração na flexão, muito menos a flambagem, sendo que as estruturas quando instaladas permanecem engastadas no terreno por um único ponto. Estando assim sujeitas às deformações devido ao carregamento atuante no topo, representado por cabos de redes e equipamentos como transformadores de corrente, que em situação de ventos fortes ou colisão, geram esforços extras, deformando as estruturas.

Como também, o item 7.2.2.5.3, define que os materiais e processos empregados para ligações e sua proteção deve obedecer as Normas Brasileiras pertinentes e, quando da inexistência das mesmas a eficiência e a durabilidade dos sistemas deve ser comprovados por verificação experimental conforme item: 5.5. Projeto e acompanhado por verificação experimental.

No item 5.5, está definido que para obter propriedades específicas dos materiais, novos produtos ou detalhes construtivos, uma parte dos ensaios pode ser executada baseando-se em verificações experimentais.

Uma das verificações iniciais prevista para o sistema de emenda foi à execução do ensaio experimental de resistência do conjunto aos esforços gerados nas operações de içamento e transporte, momento em que a peça é movimentada, pois, se exige da estrutura resistência à deformação por flexão. Este ensaio foi denominado de içamento por um único ponto e não está

especificado nas normas da NBR, se enquadrando no item 5.5 referido anteriormente.

De acordo com a NBR 9062:2006, no item 6.1.1.3, nas fases de manuseio, transporte e montagem os elementos devem ter rigidez lateral para evitar deformação e fissuração excessiva, para não reduzir sua resistência.

A rigidez lateral pode ser obtida a partir de detalhes na seção transversal ou por meio de acessórios de travamento que atuam principalmente nas operações de manuseio, como transporte e montagem.

Com base no item 6.1.1.3 da NBR 9062:2006 foi previsto que as emendas para produção dos postes modulados seriam executadas por meio de elementos estruturais de concreto ou aço que desempenhassem a função do travamento. Evitando a deformação lateral excessiva da estrutura quando sujeita a compressão excêntrica, por exemplo, gerada pelo peso do transformador e na seção da emenda através dos elementos de reforço fosse possível à transferência de esforços de tração e compressão, decorrentes da deformação por flexão comum nas operações de transporte e montagem.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 ENSAIO DE “CRASH-TEST” EM POSTES DE CONCRETO – DIMENSIONAMENTO DO DISPOSITIVO

Com o objetivo de estudar os efeitos do impacto de veículos contra postes de concreto das redes de energia, definiu-se por executar ensaios de “crash-test” simulando a colisão de um veículo de passeio com carga de 1000 kg que colide contra um poste de concreto do tipo utilizado nas RDE. A velocidade de deslocamento atribuída ao ensaio foi de 45 km/h, por ser a velocidade a partir da qual as estruturas de concreto com dimensões similares ao poste de seção duplo T ou circular das RDE não suportariam a ação destruidora da força do impacto, como identificado nas pesquisas avaliadas na revisão bibliográfica apresentada.

Para simular o fenômeno da colisão veicular contra postes da RDE foi projetada uma via férrea para deslocamento de vagonete adaptado sobre chassi ferroviário, que trafega sobre trilhos até atingir velocidade suficiente para reproduzir o efeito destruidor equivalente ao impacto veicular, quando colide contra a estrutura de concreto posicionada no final da via férrea.

Este conjunto de equipamentos que formam o dispositivo para simulação de impacto foi registrado no Instituto Nacional de Marcas e Patentes (PORTELLA, K.F., GUIMARÃES JÚNIOR, P.V. *et al.* - PI 11.00528-9 A2), por se tratar de uma inovação tecnológica específica para teste de impacto veicular em produtos destinados ao setor de distribuição de energia.

A quantidade de energia calculada para ser despendida no impacto foi equivalente à força provocada por um veículo com peso de 1000 kg, trafegando a velocidade de 45 km/h. Portanto, a energia cinética para promover o impacto foi calculada pela Equação 4, dada a seguir, sendo equivalente a 78.125J.

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \quad (4)$$

Para realização do ensaio, foi proposta a construção de uma via férrea em declive com 60 m de extensão e 15% de inclinação em declive, conforme desenho esquemático da Figura 16. Conforme apresentado na Figura 16, somente a ação da componente da gravidade g_x contribuiu para aceleração da vagonete no seu percurso até o poste. A força de atrito F_a se opôs ao movimento da vagonete causando resistência à sua aceleração. Foi adotado o coeficiente de atrito cinético de 0,06 que corresponde ao atrito no rolamento metálico das rodas na situação do atrito metal com metal lubrificado. Deste modo, teve-se que a velocidade final no percurso até o poste, após 60 m em declive de 9° (graus), foi de aproximadamente, 38,48 km/h, segundo a Equação 5 de Torricelli.

$$V^2 = V_o^2 + 2(g_x - g_y\mu) x \quad (5)$$

Para estas condições, foi necessária uma massa total na vagonete de, aproximadamente, 1500 kg para que somente a ação da aceleração da gravidade pudesse produzir um impacto equivalente à energia aproximada de 78.125J, considerando ainda que o movimento se iniciou a partir do repouso ($v_i = 0$).

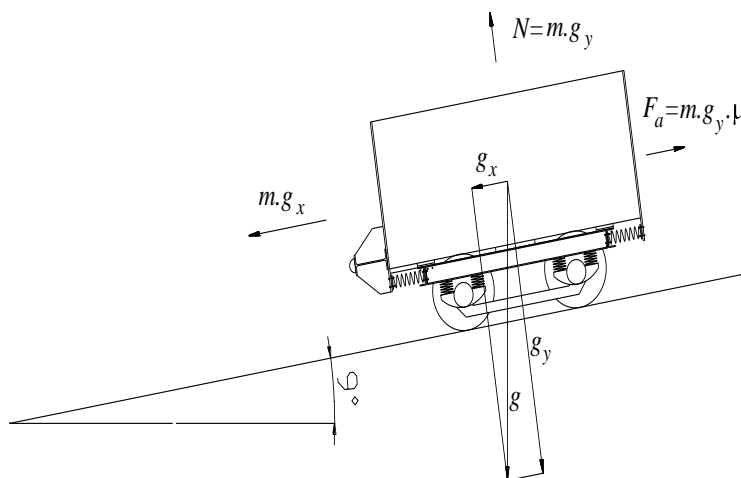


Figura 16: Representação gráfica das forças atuantes na vagonete que simulam momento da colisão

A vagonete foi dimensionada com estrutura capaz de resistir à repetição de impactos. Para isto, foram previstas para fabricação da caçamba chapas de aço

com 9,5 mm de espessura, reforçadas com um pára-choque em perfil I, provido de enrijecedores frontais onde foi fixada a barra de impacto. O chassi e o sistema de eixo ferroviário foram preservados do impacto direto com a adaptação de um conjunto de molas, garantindo grau de liberdade independente para caçamba.

Para a sua fabricação foi adquirido um chassi com rodado ferroviário reciclado, tendo sido adaptado e reformado conforme esquema e fotos apresentados na Figura 19.

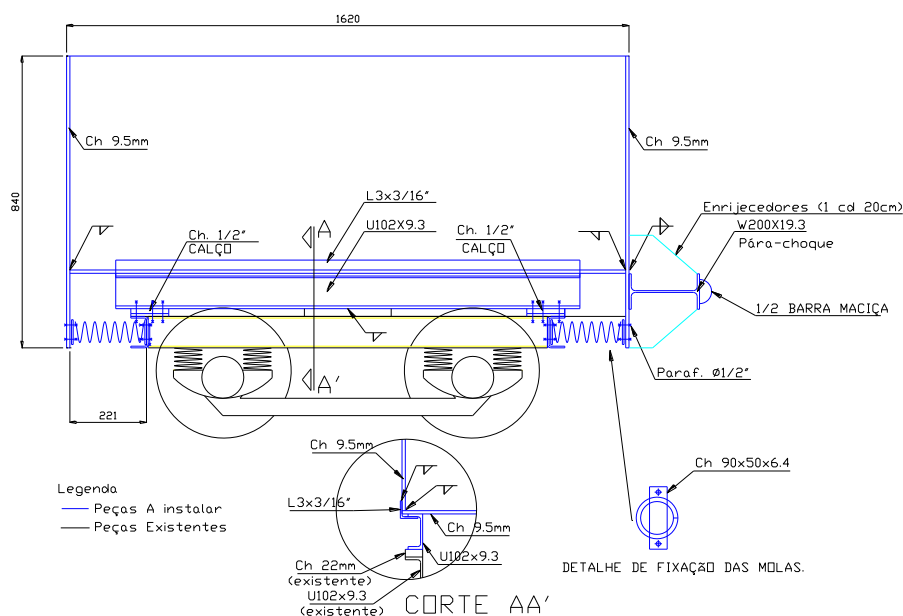


Figura 17: Projeto do reforço na estrutura metálica da vagoneta

O chassi da Figura 18 foi adquirido em fornecedor de materiais recicláveis da área do transporte ferroviário, preferível por se adaptar a bitola das estruturas composta por trilhos projetados e construídos no local dos ensaios.



Figura 18: Chassi ferroviário que compoem a base da vagoneta

Depois de fixada no chassi ferroviária a vagoneta metálica da Figura 19 possui caçamba que possibilita o aumento da sobre carga, melhorando as condições para geração de energia potencial gravitacional.



Figura 19: Detalhe da vagoneta metálica projetada para o teste de impacto.

3.2 MONTAGEM DA VIA FÉRREA

O local do ensaio foi preparado a partir de um conjunto de fatores necessários para que fosse possível a repetição dos ensaios, conservando as características físicas e mecânicas, descritas a seguir:

- a) pista de deslocamento tipo linha férrea, composta por dois trilhos TR-25 distantes entre eixos de 80 cm, assentados em plano inclinado de 9° , sobre dormentes de madeira apoiados em leito de pedra brita N°3, (diâmetro entre 50 a 70 mm). A linha férrea mostrada na Figura 20, denominada neste ensaio de monovia foi projetada para suportar o peso dos trilhos de aço e da vagoneta utilizada para deslocamento da carga até o ponto de impacto;
- b) dados da via férrea: pista com declive de 9° , para promover o movimento retilíneo acelerado, pista acompanhando a inclinação de 15% do terreno, com extensão de 60 m; ao final se materializando o ponto de colisão da vagoneta contra o poste;

- c) características da vagoneta da Figura 20, utilizada para simular o veículo de carga constituído por uma caçamba metálica, fixada sobre um chassi ferroviário com 04 rodas metálicas, carroceria retangular construída em chapa aço espessura 9,5 mm, medindo (1,0 x 2,0) m², destinada a abrigar sobrecarga de até 500 kgf.



Figura 20: Conjunto monovia e veículo de carga em posição de lançamento

O peso da vagoneta sem sobrecarga é de aproximadamente 1000 kgf, componente fundamental para geração de energia cinética, complementado com carga de 500 kgf, composta por 20 sacos com areia de massa unitária 25 kg, como apresentado na Figura 21.



Figura 21: Veículo composto de 1500 kgf como carga total

O complemento de carga permitiu aumento da aceleração ao longo do percurso, transformando energia potencial gravitacional em energia cinética, sendo equivalente a força de impacto gerada na colisão de um veículo de 1000 cc numa velocidade de 50 km/h.

3.3 DESCRIÇÃO DETALHADA DOS ENSAIOS DE COLISÃO

O objetivo principal do ensaio foi simular o impacto causado por veículo motorizado sobre os artefatos de concreto armado do tipo postes de seção duplo T e circular, como também, em materiais alternativos composto de PRFV.

A avaliação do material escolhido para confecção da luva de proteção, como o desempenho do conjunto projetado para simulação do ensaio de “crash test”, utilizando como ferramenta a observação seguida da avaliação detalhada dos danos causados ao sistema luva de proteção como à estrutura de concreto.

A utilização de uma estrutura de proteção, constituída por materiais com propriedades amortecedoras, quando posicionada na altura do impacto, constitui um elemento importante para dissipar a energia gerada, obtendo como benefício à redução da reação aplicada sobre o veículo impactante.

A minimização de danos como, interrupção instantânea do fornecimento de energia, a possibilidade de realizar serviços corretivos com atividades em horários planejados, aliada a redução na incidência de danos fatais às pessoas envolvidas no acidente, acabam por gerar redução de prejuízos, que certamente são interessantes para as concessionárias de energia elétrica.

Para a realização dos ensaios foi necessário à preparação de um local seguro, onde fosse possível simular as condições para colisão de um veículo com velocidade e trajetória definidas. Tendo como propósito colidir sobre artefato de concreto armado cravado no terreno, em condições similares às previstas para as estruturas das RDEs em operação nas vias públicas.

Como também, foram necessários preparativos no final da monovia onde se materializou o ponto de impacto contra o poste de concreto, que foi cravado no terreno a uma profundidade de 1,7 m conforme determina a NBR 8451-2:2013.

Para viabilizar a reprodução de vários ensaios no mesmo local, no ponto de impacto, foi instalado um tubo (camisa metálica) enterrado com diâmetro de 85 cm e 2,0 m de comprimento, que foi preenchido em todo o perímetro do poste com areia média representando o solo compactado, mantendo-o na vertical, como mostrado na Figura 22. A remoção da areia compactada facilitou a retirada das unidades testadas, funcionando como uma pré-furação.



Figura 22: Exemplo do conjunto luva de proteção em PRFV engastada no solo

Para evitar o descarrilamento da vagoneta no momento do impacto, a monovia foi provida de um sistema de encaixe com alinhamento, composto por perfil tipo I fortemente fixado nos dormentes de madeira. Quando a vagoneta se aproxima do ponto de impacto, o perfil encaixa em dois suportes metálicos soldados na estrutura inferior do chassi na parte trazeira da vagoneta, impedindo que as rodas metálicas desencaixem dos trilhos ao ser bruscamente interrompido o movimento.

Sendo a massa, a representante da componente força destrutiva mantida constante, na busca e identificação dos fatores para avaliar o desempenho dos componentes da luva de proteção, como a ruptura dos materiais, sentido e

intensidade das deformações, danos aos componentes e operacionalidade do protótipo na reprodução dos ensaios.

Isto estabeleceu a relação de desempenho ou “performance” dos materiais, relacionando a absorção do impacto com a deformação, ou seja, criando a condição de amortecimento dos esforços gerados na colisão pela ação do conjunto luva de proteção + material de amortecimento, evitando a ruptura do poste de concreto e a consequente interrupção no fornecimento de energia.

O sistema de estabilização da Figura 23, também teve a função de garantir que o impacto provocado pela vagoneta contra o poste de concreto fosse aplicado no mesmo ponto, gerando a similaridade nas condições, reduzindo o número de variáveis influentes e não controláveis que poderiam alterar resultados.



Figura 23: Sistema de estabilização da vagoneta

3.3.1. Materiais utilizados no ensaio de “crash test”

Os materiais a seguir relacionados foram utilizados no experimento:

- Poste pré-moldado de concreto seção duplo T, categoria 150 daN, com 10,50 m de comprimento massa de 470 kg, fabricado com concreto de resistência à compressão aos 28 dias de 25 MPa;
- Luva de proteção à base do compósito de resina poliéster entrelaçada por fios de fibra de vidro, com formato circular de $\varnothing = 400$ mm e comprimento

de 2,0 m, denominada de Luva de PRFV. Foram utilizadas duas versões diferentes de luva em relação à existência de reforço constituído por lâmina de aço de 0,6 mm de espessura embutida na parede da luva durante o processo de fabricação, sendo realizado ensaio da luva com e sem reforço, o que alterou a espessura final da peça de 20 para 15 mm;

- Material de enchimento com a função de promover o amortecimento da energia de impacto, adicionado no interior da luva no entorno da estrutura do poste, composto por misturas de diferentes materiais formando arranjos em função das características para maior redução da força de impacto. Foram utilizados os seguintes materiais:

a) Areia média lavada com granulometria variando de 2,5 a 4,2 mm com teor de umidade natural;

b) Borracha de EVA (copolímero de etil vinil acetato), material granular fragmentado com diâmetro médio de 9,5 mm, agregado sintético leve, atóxico, estável, sem função estrutural, densidade próxima de 0,92 g/dm³;

c) Raspa de borracha de pneu em tiras de comprimento médio de 10 mm e espessura de 2 a 3 mm;

d) Isopor em flocos (poliestireno expandido), com diâmetro variando de 3,0 a 6,0 mm, material classe F (incombustível, não queima nem propaga chamas), extremamente leve de densidade 0,09 g/dm³;

e) Espuma de poliuretano expansivo, sem CFC, absorve ruídos e vibrações estruturais, não retrai e não cede à pressão, não reage quimicamente na atmosfera expande de 30 a 40 vezes o volume original e tem poder de aderência em superfícies asperas;

Para a caracterização da resistência à compressão diametral da luva de PRFV, foi retirada amostra do material em formato de anéis circulares, como na Figura 24, para definição das dimensões médias e a determinação da resistência mecânica, semelhante à condição de pressão provocada pela força de colisão atuante sobre a estrutura da luva. Uma vez que originalmente este produto (tubo

de PRFV) não foi projetado para resistir ao esforço de cisalhamento associado à flexão, decorrente do impacto provocado pela colisão veicular sobre a luva.



Figura 24: Amostra em forma de anéis das luvas do composto de PRFV

As amostras foram medidas nos quatro quadrantes para obtenção de um valor médio da largura representativo, como apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6: Dimensões médias dos anéis em materiais compósitos

Amostra	Diâmetro interno (mm)	Diâmetro externo (mm)	Altura (mm)	Espessura (mm)
1.0016.09	364,08 ± 1,91	400,78 ± 1,27	57,15 ± 0,91	9,70 ± 0,08
1.0017.09 - 1	279,00 ± 2,47	315,33 ± 0,83	57,13 ± 0,79	8,63 ± 0,46
1.0017.09 - 2	297,13 ± 2,59	334,38 ± 2,65	58,35 ± 1,55	9,23 ± 0,76

A luva de proteção da Figura 25, consiste em uma peça com 2,0 m comprimento, seção circular com diâmetro de 400 mm, superior à seção transversal do poste para sobrepor a região do impacto, sendo 25% do comprimento enterrado no terreno e 75% exposto.



Figura 25: Luva de proteção em PRFV no ponto de impacto

Para validação dos resultados o ensaio foi reproduzido 07 vezes, empregando diferentes materiais de enchimento e com alterações na forma de instalação da luva, para obtenção de resultados com diferenciais que serviram para orientar na composição dos materiais de amortecimento com melhor desempenho. Sempre com referências à forma de instalação e ao comportamento mecânico da luva de PRFV para redução na intensidade da força de impacto.

A sequência de ensaios foi padronizada a partir da realização do primeiro, uma vez que conclusões sobre a metodologia aplicada (montagem do equipamento, procedimento de execução e deformações nos materiais) puderam ser adequadamente observadas e definidas, atendendo os critérios de segurança. Sendo por exemplo, optado pelo monitoramento do deslocamento do poste quando impactado pela vagoneta, por meio da instalação de sensores, melhorando a interpretação dos resultados, como mostra a Figura 26.



Figura 26: Instalação de sensores para captar o movimento

Com a análise para interpretação dos resultados, buscou-se identificar falhas no sistema de proteção e no conjunto simulador de impacto (monovia/vagoneta), identificando situações que viessem mascarar os resultados.

No primeiro ensaio atendendo critérios de segurança estabelecidos pelo LACTEC, foi testado o poste fabricado em resina polimérica de PRFV, que tem massa próxima de 160 kg, (68% inferior aos postes similares de concreto), com comprimento de 11,00 m e resistência nominal de 300 daN.

A Figura 27 mostra a identificação de uma das amostras do poste fabricado em PRFV, fornecidas pela empresa com parceria para a realização dos ensaios.



Figura 27: Identificação do poste fabricado em PRFV

A utilização do poste mais leve no primeiro ensaio foi motivada em função da capacidade de carga do caminhão munck, equipamento utilizado para transporte e içamento, por ser necessário trabalhar com a lança totalmente estendida (20 m) como na Figura 28, suportaria na extremidade a carga máxima de 300 kgf, superior ao peso de um poste de concreto modelo DT



Figura 28: Caminhão munck posicionando o poste de PRFV

Conforme o princípio da transferência dos esforços que se baseia na configuração estrutural dos materiais, a propagação de uma força concentrada

aplicada sobre uma superfície rígida e espessa, tem tendência a deslocar-se em direção ao centro da estrutura, convergindo em ângulo de 120°.

Segundo este princípio às deformações geradas na superfície do poste pela força de colisão, aplicada a uma distância de 50 a 80 cm acima do solo (altura dos parachoques dos veículos), se propagar para o lado oposto ao ponto de impacto no sentido diametral, necessitando uma peça de 2,66 m de comprimento, incluindo o trecho da base engastada no terreno. Sendo assim viável utilizar para os ensaios de crash test $\frac{1}{2}$ poste (parte inferior) de seção duplo T, com massa próxima de 250 kg, compatível à carga que o caminhão munck suportaria com a lança telescópica estendida.

Inicialmente a base do poste foi posicionada por meio de vigas de madeira e travas com cunhas ao longo do comprimento engastado, procurando garantir o posicionamento na vertical para posterior remoção do interior do tubo de aço, após a colisão, como ilustrado na Figura 29.



Figura 29: Fixação da base do poste no ponto de impacto

Algumas das condições definidas foram mantidas constantes para que fosse viável a reprodução dos ensaios, como também, a redução do número de variáveis, tornando o experimento com parâmetros controlados, o que melhorou as condições para avaliação do desempenho da luva de proteção e dos materiais de amortecimento. Sendo a parcela da força de impacto absorvida pela estrutura de concreto, vinculada à ação do sistema de proteção, buscando como meta ser

absorvida pelo concreto a menor parte da energia cinética, tendo como limite a resistência mecânica à compressão da estrutura de concreto.

Condições constantes: I) característica técnica da monovia como extensão e inclinação; II) peso do chassi ferroviário mais caçamba metálica; III) condição de repouso inicial com aumento da velocidade a partir da aceleração obtida com a força potencial gravitacional; IV) sobrecarga de 500 kgf, composta por 25 sacos de areia, distribuídos no interior da caçamba; V) luva de proteção em compósito de PRFV; VI) profundidade de engastamento da base do poste de 1,70 m.

Condições alteradas: I) posicionamento do poste em relação da face interna da luva de proteção; II) composição do material granular de amortecimento, a ser inserido no interior da luva; III) utilização de luva diferenciada, com e sem reforço de lâmina de aço embutida na espessura da parede da luva; IV) reforço na parte externa da luva com material rígido (barras de aço) e flexível (carcaças de pneus); V) luva seção circular fechada e com recorte longitudinal; VI) ensaio em poste circular de PRFV e 1/2 poste de concreto seção duplo T.

Atendendo aos padrões de segurança exigidos para realização dos experimentos, os ensaios foram executados em datas distintas, sendo registradas as condições de realização nos Quadros 7, 8, 9, 10, 11 e 12, seguido de registro fotográfico, para observação dos detalhes que evidenciaram o comportamento dos materiais de proteção e dos danos provocados na estrutura da luva e do poste de concreto polimérico para avaliação dos aspectos pesquisados.

3.3.2. “ Crash test” 1

No Quadro 7, estão apresentados parâmetros empregados para realização do teste de impacto número 1.

Quadro 7: Características do ensaio de impacto N°1

Poste	Circular de PRFV, comprimento de 11,00 m e 300 daN de resistencia nominal e massa de 160 kg;
Engastamento	04 vigas de madeira com comprimento igual ao trecho engastado, espaçadas ao longo do diâmetro para facilitar a remoção do poste após o ensaio;
Luva de proteção	Material PRFV, espessura da luva 20 mm, com 02 lâminas metálicas de 0,6 mm como reforço da parede, posicionada com poste centralizado;
Material para Enchimento	O espaço entre a luva de proteção e o poste foi preenchido só com areia ao longo do comprimento da luva, sem necessidade de compactação;
Vagoneta	Peso de 1500 kgf, incluindo a sobrecarga;
Tempo de percurso	8,5 s;
Velocidade final	Partindo do repouso até velocidade medida em campo 43 km/h;



3.3.3. “ Crash test ”2

No Quadro 8, estão apresentados parâmetros de controle empregados no teste de impacto numero 2.

Quadro 8: Características do ensaio de impacto N° 2

Poste	Circular de PRFV, comprimento de 11,00 m e 300 DaN de resistencia nominal com massa de 160 kg;
Engastamento	12 vigas de madeira com comprimento de 1,70 m igual ao comprimento do trecho engastado, utilizado 3x mais vigas que no primeiro ensaio, travamento distribuído por todo perímetro;
Luva de proteção	Material PRFV, com espessura da parede de 15 mm, reforçada com 01 lâmina metálica embutida de 0,6 mm, posicionada centralizada em relação ao poste;
Material para Enchimento	O espaço entre a parede da luva e a face externa do poste de PRFV foi preenchido com espuma de Poliuretano Expansiva (EPS), ocupando uma faixa com 50 cm de comprimento, centralizado na altura do impacto;
Vagoneta	Peso próprio de 1500 kg, incluindo a sobrecarga;
Tempo de percurso	8,5 s
Velocidade final	Partindo do repouso até velocidade final de 43 km/h medida em campo

Foi previsto neste teste o monitoramento da desaceleração do sistema, como mostrado na Figura 30, foram instalados sensores na estrutura do poste de PRFV para captação do movimento aplicado ao conjunto em função da atuação da força de impacto.



Figura 30: Instalação de sensores para monitorar a aceleração

Os sensores foram conectados a uma CPU (unidade de medição “BraggScope ”), sendo os sensores do tipo acelerômetro e os cabos de fibra ótica com taxa de aquisição de dados de 1000 Hz, como demonstrado na Figura 31



Figura 31: Conexão de cabo fibra ótica a CPU

3.3.4. “Crash test ” 3

No Quadro 9, encontram-se os parâmetros empregados no teste de impacto número 3.

Quadro 9: Características do ensaio de impacto N° 3

Poste	½ Poste de concreto armado, seção Duplo T e resistência nominal de 150 daN;
Engastamento	Material utilizado para travamento da base foi areia média ensacada, de modo a permitir a acomodação do material junto à base do poste, garantido o travamento e verticalidade;
Luva de proteção	Em PRFV reforçado com duas lâminas metálicas de 0,6 mm e espessura da parede 20 mm, posicionada em relação ao poste no centro do ponto de colisão;
Material para Enchimento	Argamassa cimento+areia+flocos de isopor, misturados na proporção de (1:3: 6) sendo a argamassa de cimento com a consistência seca, compactada com auxílio de soquete manual;
Vagoneta	Com peso proprio de 1500 kgf, incluindo sobre carga;
Tempo de percurso	8,5 s;
Velocidade final	Partindo do repouso até atingir 43 km/h no ponto de impacto, medida em campo;

Nas Figuras 32 e 33 estão ilustrados os sistemas de montagem e de preenchimento do interior da luva de proteção com mistura de amortecimento.



Figura 32: Luva de proteção posicionada no ponto de impacto



Figura 33: Argamassa para enchimento compactada para travamento da luva

A consistência seca da mistura facilitou o preenchimento do espaço entre a luva e a parede do poste de concreto, para boa aderência ao poste foi umedecida a superfície do poste e promovido à compactação com soquete manual, evitando a formação de vazios principalmente na altura do impacto da vagoneta.

3.3.5. “ Crash test” 4

No Quadro 10, estão relacionados os parâmetros para o teste utilizado no procedimento de impacto número 4.

Quadro 10: Características do ensaio de impacto N° 4

Poste	½ Poste de concreto seção duplo T, resistência nominal de 150 daN,
Engastamento	Sacos de areia ocupando o espaço entre a base do poste e o tubo metálico, o material foi ensacado para facilitar a acomodação, garantindo um bom travamento da base do poste, como também a remoção depois do ensaio realizado;
Luva de proteção	Confeccionada em PRFV com espessura de 10 mm, sem reforço da lâmina metálica de 0,06mm, posicionada centralizada em relação ao poste e a camisa metálica.
Material de Enchimento	Areia média misturada com agregado leve de EVA, com o propósito de obter um material composto por partículas intercaladas de grãos resistentes (areia) e agregado com elevada capacidade de deformação, o EVA misturado no traço 1:4;
Vagoneta	Com carga total de 1500 kgf;
Tempo de percurso	8,5 s;
Velocidade final	Partindo do repouso até a velocidade de 43 km/h antes do impacto.

Na Figura 34, estão algumas etapas empregadas na montagem do sistema de proteção anti-impacto veicular, sendo executadas manualmente com intuito de reproduzir as condições de instalação em campo.



Figura 34: Mistura de areia+agregado leve de EVA

3.3.6. “ Crash test” 5

No Quadro 11, encontram-se definidos os parâmetros utilizados no procedimento de impacto número 5.

Quadro 11: Características do ensaio de impacto N° 5

Poste	½ Poste de concreto, seção duplo T, com carga nominal de 150 daN;
Engastamento	Com areia ensacada ocupando o espaço entre a base do poste e a camisa metálica, foram introduzidas cordas amarradas nas extremidades dos sacos, para auxiliar na remoção do material de travamento da base após a execução do ensaio;
Luva de proteção	Constituída em PRFV com parede de espessura 15 mm e reforçada com 01 lâmina metálica de espessura 0,6 mm, foi executado um CORTE LONGITUDINAL no lado oposto ao ponto de impacto, com a função de marcar descontinuidade da luva, aumentando o poder de deformação;
Enchimento da luva	Mistura de areia média com agregado leve de EVA na proporção de 1:1 com a intenção de preencher os espaços entre as partículas de EVA, o que aumentaria a resistência à compressão do material amortecedor, consumindo energia ao deformar-se. A areia com teor de umidade acima dos 3% (acima da umidade ambiente), melhorou a aderência entre as partículas do agregado leve, facilitando aplicação no interior da luva de proteção;
Vagoneta	Com carga total de 1500 kg
Tempo de percurso	8,5 s
Velocidade final	Partindo do repouso até a velocidade de 43 km/h medida em campo.

A Figura 35 apresentada vista geral do poste consolidado no interior da luva de proteção, desalinhado em relação ao centro da luva, mais próximo da face oposta ao impacto, para permitir maior ação do material de amortecimento. O recorte realizado longitudinalmente na luva de proteção teve o objetivo de criar condições para luva deformar com maior intensidade ao ser impactada pela vagoneta e assim não reter a energia da colisão, simplesmente dissipando para o entorno, que em condições reais seria transferido ao terreno esta energia, sem ser absorvida pela estrutura de concreto do poste.



Figura 35: Poste deslocado do centro da luva com recorte na face oposta ao impacto

3.3.7. “ Crash test” 6

No Quadro 12, encontram-se os parâmetros utilizados no procedimento de impacto número 6.

Quadro 12: Características do ensaio de impacto N° 6

Poste	½ Poste de concreto, seção duplo T, resistencia nominal de 150 daN;
Engastamento	Areia ensacada foi depositada para preencher os espaços entre a base do poste e a camisa do tubo metálico, cordas foram amarradas nas extremidades para facilitar a remoção do material de engastamento após a execução do ensaio;
Luva de proteção	Material PRFV, esp.10 mm, sem reforço de lamina metálica de 0,6mm embutida, porém reforçado na parede pelo lado externo com 06 (seis) barras de aço estrutural CA50, espessura 22 mm, distribuída na meia circunferência no lado frontal da luva, na direção do impacto. O reforço foi unido à luva com recobrimento de resina poliéster após o processo de fabricação da luva de PRFV, na montagem do sistema de proteção foram sobrepostas duas cintas metálicas para garantir a segurança em caso do desprendimento das barras de aço do corpo da luva;
Enchimento da luva	Areia média, umidade proxima dos 5% (acima da umidade natural), compactada com soquete manual;
Vagoneta	Com carga total de 1500 kg;
Tempo de percurso	8,5 s;
Velocidade final	Partindo do repouso com velocidade antes do impacto de 43 km/h, medida em campo;

Na Figura 36 estão mostradas fotos do sistema para a absorção do impacto neste teste.



Figura 36: Luva de proteção descentralização em relação ao poste

3.3.8 " Crash test" 7

No Quadro 13, encontram-se definidos os parâmetros utilizados no procedimento de impacto número 7.

Quadro 13: Características do ensaio de impacto N° 7

Poste	½ Poste de concreto, seção duplo T de resistência nominal de 150 daN;
Engastamento	Direto no solo compactado com areia, sem restrição de deformação gerada pela camisa do tubo metálica;
Luva de proteção	Material PRFV, esp. 10 mm envolvendo o poste de concreto, instalado externamente mais duas proteções extras: primeiro um conjunto de carcaças de pneus reciclados (linha automotiva), encaixado pelo lado externo sobrepondo a luva de PRFV, e sobre as carcaças também pelo lado externo, outra luva fabricada em fibra de vidro de diâmetro 860 mm, com a função dar estrutura à coluna de pneus, de comprimento igual ao da luva interna de proteção em PRFV.
Enchimento da luva	Parte interna da luva de PRFV preenchida com areia média, entre as duas luvas preenchido com pneus e os espaços vazios entre os pneus com fragmentos de EVA;
Vagoneta	Com carga total de 1500 kgf;
Tempo de percurso	8,5 s;
Velocidade final	Do repouso até velocidade 43 km/h antes do impacto;

Na Figura 37, estão mostradas etapas de montagem do sistema de proteção preparada para o teste de impacto N° 7.



Figura 37: Instalação do conjunto poste +luva de proteção

3.4 DESCRIÇÃO DETALHADA DO PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE POSTES MODULARES DE CONCRETO

Existem hoje, no mercado, dois tipos de postes de concreto armado para a aplicação nas RDEs, diferentes em função da seção transversal, conhecidas como seção duplo T (DT) e circular ocos, com comprimentos a partir de 10,50 m e peso de 450 e 730 kg respectivamente. Ambos apresentam variação na seção transversal, em função da conicidade de 20 mm/m, obedecendo às tolerâncias.

De acordo com a NBR 6118:2007 alguns parâmetros devem ser respeitados para que as estruturas de concreto tenham capacidade para suportar esforços de compressão e tração com segurança, válidos, também, para o dimensionamento das estruturas pré-moldadas, como apresentado no Quadro 14.

Quadro 14: Limites da NBR 6118 e os praticados nas fábricas de pré-moldados

ESPECIFICAÇÃO	NBR 6118:2007	POSTE DUPLO T	POSTE CIRCULAR
Seção Transversal	(19 X 19) cm ²	(17 X 23) cm ²	Øe = 24 cm Øi = 14 cm
Menor Dimensão	b = 19 cm	17 cm	Ømédio = 19 cm
Área Mínima da Seção Transversal	(b x h) = 360 cm ²	391,00 - 120,50 = 270,50 cm ²	452,38 - 153,93 = 298,45 cm ²
Cobrimento Classe I	25 mm s/ agressão	Min. 15 mm	
Cobrimento Classe II	35 mm c/ agressão	20 a 25 mm	Min. 15 mm
Ø min. Armadura Longitudinal.	10 mm ≤ ØL ≤ b/8 10 a 23 mm	4 x 10 mm 4 x 8 mm	8 x 10 mm 6 x 8 mm
Taxa Máxima de Armadura	4% área seção de concreto=14,40cm ²	Máx. 10,80 cm ² Existente=5,20 cm ²	Máx. 11,93 cm ² Existente=11,80 cm ²
Espaçamento entre estribos S ≤ 20 cm	menor dimensão 12 ØL	17 cm 12 cm	19 cm 12 cm

A determinação dos carregamentos referente à utilização das estruturas para as RDE estão definidos na NBR 8451-2: 2013, e referem-se ao esforço estrutural composto por cargas de compressão e tração, que deveriam ser parametrizados conforme os limites definidos para o dimensionamento das estruturas de concreto especificadas na NBR 6118: 2003. Comparando valores obtidos da produção de postes modulares, os parâmetros de referência especificados na NBR 6118:2007 para dimensionamento das estruturas de concreto armado estão bem superiores aos limites utilizados pela indústria de pré-moldados, como apresentados no Quadro 14, dimensões mínimas da seção de concreto e área de aço das estruturas.

O fator de forma um conceito da resistência dos materiais que define a melhor relação para a seção transversal geométrica e a que contribui para suportar os esforços de compressão. Relaciona a distribuição de pressão interna de confinamento que deveria ser uniforme em todas as direções da seção transversal, quando a estrutura está sobre ação do carregamento de compressão.

Segundo Sudano e Hanai (2006), a seção circular tem o fator de forma igual a 1, considerada ideal, já para o poste DT ocorre concentração de tensões nas arestas, o que não é recomendado para seção de emenda ou reforço do tipo encamisado, pois devido concentração de tensão ocorre o rompimento prematuro dos materiais nesta região.

Neste experimento foram testados sistemas de emenda confeccionados a partir de modificações realizadas nas fôrmas metálicas, de modo a não alterar o sistema construtivo das peças, visando à adaptação na produção das peças de pré-moldados. Importante esta consideração, pois os fabricantes de postes além de possuírem número limitado de fôrmas metálicas, em alguns casos, reutilizam pelo menos duas vezes a mesma forma durante o turno de trabalho de 24 h, sendo honerosa a fabricação de formas especiais para produção de postes com emendas.

Outro fator que foi considerado, diz respeito à técnica adotada na montagem, priorizando o trabalho com ferramentas leves tradicionais do setor,

evitando uso de equipamentos mecânicos de porte para o posicionamento, alinhamento e travamento do conjunto modulado, o que vem a colaborar para montagem em locais de difícil acesso e sem infraestrutura adequada.

Não pode ser esquecida a questão do tempo de cura necessário para o enrijecimento da emenda, pois, o poste assim que é descarregado no local de instalação, deve ser posto na vertical para que não ocorram danos estruturais. Uma vez que a quantidade mínima de estribos indica que a peça não foi projetada para suportar esforço de tração na flexão, e enquanto permanece na horizontal está sujeita a este tipo de esforço.

3.4.1 Ensaios em poste modular duplo T com emenda

O objetivo desta etapa do estudo foi verificar a possibilidade de produzir postes de concreto modulados em campo de seção DT, a partir do desenvolvimento de um acessório para união dos módulos, com o emprego de ferramentas comumente utilizadas pelas empresas que trabalham na montagem das RDEs.

O concreto para moldagem das estruturas emendadas foi confeccionado com materiais já utilizados pela indústria de artefatos de concreto pré-moldados para RDE, sem promover alterações que elevassem o custo ou exigissem modificações substanciais no processo de produção praticado pela indústria.

A moldagem dos módulos foi realizada com concreto dosado com mesmo traço utilizado pela indústria na fabricação dos postes, com histórico de resistências mecânicas à compressão superior a 25 MPa, passados os 28 dias de cura em local abrigado, tempo suficiente para preparação dos prismas de concreto que foram utilizados como elemento de emenda estrutural dos postes.

O traço de referência utilizado pela indústria de artefatos de concreto pré-moldado foi dosado por empresa especializada na tecnologia do concreto, com a composição apresentada no

Quadro 15.

Quadro 15: Traço de referência para o concreto dos módulos

RESISTENCIA	CIMENTO	AREIA	BRITA	AGUA	ADITIVO
25 MPa	50 kg	86 kg	137 kg	21,6 L	150 ml

Os materiais utilizados foram: cimento tipo CII F 32 – resistência à compressão traço experimental de 26,8 MPa aos 07 dias; areia natural média com 4% de umidade; pedra brita N° 1 – equivalente a granulometria retida na peneira malha 19 mm; fator água/cimento 0,50 para abatimento no “slump test” de (12 ± 1) cm; e aditivo plastificante MC BAUCHEMIE-MURASPLAST FK 49-B - 0,3% do peso cimento.

Foram acrescentados dois tipos de adições minerais, a sílica ativa e o metacaulim com a finalidade de prover o concreto dos prismas de uma estrutura mais densa e por isso mais resistentes (CHAPPEX *et al.*, 2012; WILLIAM *et al.* 2011). Foram utilizadas, também, fibras sintéticas de dois tipos, borracha de pneus e mono filamento extrudado sintético e flexível. Com a função de distribuir melhor os esforços de flexão a partir do entrelaçamento das fibras, efeito que além de distribuir as tensões em várias direções, também auxilia no combate a formação de trincas a partir da ocorrência das fissuras por retração.

Como parâmetros para aceitação do desempenho na avaliação dos limites de resistência dos postes modulados, foram adotados os valores de referência previstos na NBR 8451-2:2013, para suportar esforço gerado no ensaio de elasticidade com força de resistência nominal (RN) de 100% e 140%, realizados em bancada padronizada específica para este fim.

A seguir foi descrita a metodologia adotada para preparação de cada um dos ensaios:

- A primeira atividade em campo foi definir qual o comprimento da seção do módulo, para isso foi aplicado o princípio do equilíbrio, prevendo a divisão do poste de 10,50 m de comprimento em dois módulos. Que em função da conexidade apresenta variação no peso, ficando o módulo da base com

comprimento de 3,50 m e o topo com 7,00 m, como observado na Figura 38, o corte foi realizado na quarta gaveta, da base para o topo.



Figura 38: Recorte do poste DT em dois modulados

- A definição do comprimento de cada módulo estava em função da conexão da seção transversal, representada pela redução das medidas ao longo do comprimento, sendo as dimensões mínimas definidas pela NBR 8451-2: 2013, que trata da padronização destas estruturas.
- O corte foi realizado no sentido transversal com ferramenta abrasiva denominada esmerilhadeira de disco diamantado, no meio da quarta seção reduzida, também denominada seção com gaveta, onde foi posicionada a junta transversal que materializa a emenda dos módulos.

3.4.2 Especificação do concreto dos prismas

Foram moldados 16 (dezesesseis) prismas de concreto com traços apresentados no Quadro 16, que foram diferenciados por detalhes como:

- I) 04 prismas de concreto com traço de referência, sendo 02 moldados na gaveta do poste de concreto e 02 na forma metálica;
- II) os demais prismas moldados na forma metálica, 04 variando o tipo de adição mineral (sílica ativa e metacaulim) e 08 variando tipo de adição sintética (fibra rugosa de polipropileno e fibra de pneu triturado).

Quadro 16: Traço para moldagem dos prismas de concreto

TRAÇO	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 1 (kg)	Água (L)	Adição mineral e sintética (kg)	(%) Adição em relação ao cimento
Referência	50	86	137	25	0	0
T1/sílica	47,25	86	137	25	2,75	5,5
T2/meta	47,25	86	137	25	2,75	5,5
T3p/sílica/fibra	47,25	86	137	25	2,75+0,5	5,5+1
T3pb/sílica/fibras	47,25	86	137	25	2,75+0,5+0,5	5,5+1+1
T4p/meta/fibra	47,25	86	137	25	2,75+0,5	5,5+1
T4pb/meta/fibras	47,25	86	137	25	2,75+0,5+0,5	5,5+1+1

Concretos dosados com adições minerais (T1 e T2) tendem a ter melhor desempenho em aplicações onde à redução da permeabilidade e o aumento de densidade são relevantes, como consequência também ocorre um crescimento na resistência mecânica a compressão, sendo por estas razões que foram adotadas estas adições e comparada sua eficiência ao concreto de referência.

As estruturas dos postes das RDE atuam sujeitos à ação dos carregamentos que geram esforços principalmente de flexão, como os decorrentes das operações de içamento para movimentação das peças, considerado um esforço de grande intensidade, devido à estrutura apresentar cura muito recente e por isso ainda frágil para determinadas solicitações. Em função destes carregamentos, surgem deformações que danificam as estruturas, e pequenas fissuras de secagem podem rapidamente se transformarem em perigosas trincas estruturais.

Por mais que o experimento não trate especificamente do estudo de dosagem do concreto, a escolha por incluir adição nos traços utilizados para produção dos prismas de concreto procurando em dados da literatura que demonstrem ser pertinente melhorar as características do concreto para estruturas sujeita a esforços e deformações diferenciadas.

Com base na ocorrência destas deformações, foi previsto a confecção dos quatro traços, o (T3p e T3pb) com sílica ativa acrescido de 02 tipos de fibras,

(sintética de polietileno ranhurada com Ø 1,8 mm e borracha de pneu triturada) e o (T4p e T4pb), com metacaulim acrescido também com os mesmos tipos de fibras, (Quadro 17).

Quadro 17: Tipo de adição ao concreto dos prismas

MODELO DO PRISMA	Ref.	Ref.	T1	T2	T3p	T3pb	T4p	T4pb
MOLDADO NA GAVETA	X							
FORMA METALICA		X	X	X	X	X	X	X
AD. MINERAL SILICA ATIVA			X		X	X		
AD. MINERAL METACULIM				X			X	X
FIBRA SINTÉTICA Ø 1,8mm					X	X	X	X
FIBRA DE BORRACHA TRITURADA						X		X

Esforços diferenciados exigem dos materiais desempenho extra só alcançado com o uso de tecnologias que atuem na microestrutura dos materiais, melhorando suas propriedades. O propósito foi constatar se o concreto produzido com adições minerais e sintéticas associadas contribui significativamente para melhorar a elasticidade dos prismas, reduzindo as reações na seção da emenda, que é o ponto mais frágil da estrutura modulada.

3.4.3 Preparo do concreto para moldagem dos prismas

Para facilidade na montagem, a primeira opção para emenda dos módulos foi moldar prismas de concreto utilizando como fôrma o encaixe existente na seção transversal do poste, chamado de gaveta, onde a seção tem a área reduzida em 38%, passando da seção retangular para a seção DT, com objetivo de reduzir peso e consumo de material.

Foram preparadas as 04 (quatro) dosagens diferentes, a fim de avaliar se as adições efetuadas teriam influência marcante nas propriedades características do concreto, no estado fresco e endurecido, capaz de interferir na eficiência do sistema de emenda para postes modulares.

O volume adicionado na dosagem dos traços correspondentes para a adição mineral de sílica ativa, denominado (T1) e metacaulim (T2) foi de 5,5% em

substituição ao peso de cimento. Já, para adição das fibras sintéticas à base de polietileno e borracha (T3p e T3pb), foi de 1,0% em relação ao peso do cimento, para cada tipo de fibra, sem promover redução na quantidade de cimento e repetindo para adição mineral com metacaulin nos traços (4p e T4pb).

O processo de moldagem obedeceu aos procedimentos previstos na norma NBR 9062:2006, prevendo a produção de artefatos pré-moldados de concreto com qualidade, pois os esforços atuantes exigiriam um bom desempenho dos prismas, só obtido em estruturas sem manifestações patológicas.

Ensaio para avaliar a trabalhabilidade do concreto foram realizados com o concreto em estado fresco, ensaio de abatimento do tipo “slump test”, como mostrado na Figura 39 e a moldagem de corpos de prova cilíndricos (10 x 20) cm², para execução do ensaio de resistência mecânica, com esforço de compressão axial e diametral, (Figura 39) para comparação com valores obtidos com o concreto de referência.



Figura 39: Preenchimento dos moldes para ensaio de abatimento (A) e de resistência à compressão (B)

A adição das fibras sintéticas no concreto reduziu a trabalhabilidade, sendo obtido o valor de abatimento para o traço de referência de 125 mm e 85 mm para o traço com adições minerais associado às fibras sintéticas, o que dificultou o escoamento no interior das fôrmas, podendo gerar falhas construtivas em pontos

de maior concentração das armaduras. Na Figura 40 está apresentado o aspecto visual do concreto fresco inclusive com as fibras sintéticas dispersa na mistura.



Figura 40: Aspecto visual dos constituintes do concreto fresco

Depois de moldados, os CPs foram conservados em local protegido de intempéries e vibrações, para ter a cura em condições semelhantes aos postes de concreto que são produzidos e estocados na indústria. Os CPs foram capeados com enxofre e preparados para ensaio de resistência à compressão axial.

Na armadura do prisma foi adotada a mesma configuração utilizada na estrutura original do poste, aço CA50-A, composta de 4 (quatro) barras longitudinais de Ø10 mm, posicionados com auxílio de 10 (dez) estribos Ø 4,2 mm, distribuídos transversalmente com espaçamento de 15 cm, (Figura 41).



Figura 41: Armadura de aço utilizada no prisma de concreto

Para facilidade da desforma, foi prevista aplicação de filme de PVC transparente na superfície interna das gavetas, onde o concreto foi depositado, assim as medidas externas do prisma teriam as mesmas dimensões internas da gaveta do poste, objetivando um encaixe perfeito.

Foram moldados prismas nas gavetas de dois postes, para atingirem valores de resistência mecânica semelhantes, por ter mesma idade e sob as mesmas condições de cura, já que deveriam trabalhar aos pares, quando instalados na seção de emenda, como mostra a Figura 42.



Figura 42: Gaveta utilizada como fôrma para molde dos prismas

Foram adotados os procedimentos como na indústria de pré-moldados, a fim de avaliar se algum detalhe não corresponderia com a realidade da produção. A Figura 43 demonstra a execução do acabamento superficial e adensamento mecânico com vibrador de imersão do tipo agulha.



Figura 43: Concretagem e adensamento dos prismas nas gavetas

Foi vedada a superfície do concreto com filme plástico para dificultar a evaporação d'água, evitando as fissuras que são manifestações patológicas prejudiciais para as peças de concreto sujeitas aos esforços de tração na flexão.

Após a moldagem dos prismas foi esperado o prazo de 07 dias de cura inicial para a desforma, as peças permaneceram depositadas em local protegido aguardando o prazo para instalação até se completarem 28 dias de cura.

O trabalho realizado nos prismas como mostra as Figura 44 (A) e (B), tiveram o objetivo de melhorar a condição de encaixe do prisma na gaveta do poste, a fim de restringir ao máximo o movimento entre as partes, depois de travados com os parafusos.



(A)



(B)

Figura 44: Acabamento na superfície (A) e na aresta (B) do prisma

Na Figura 45 aparecem estocados na indústria os prismas confeccionados, prontos para serem utilizados nos testes de içamento, identificados conforme sistema de forma utilizado para moldagem e traço do concreto.



Figura 45: Prismas de concreto com adições, estocados para ensaios

Na sequência o “site” foi preparado para cada ensaio, buscando avaliar as deformações, utilizando ferramentas de observação, registros fotográficos, comportamento das patologias na seção de emenda e nas deformações do prisma de concreto, quando sujeitos aos esforços decorrentes do içamento e do ensaio de elasticidade em bancada, comparando os resultados com valores de referência previstos na NBR 8451-2:2013 para poste padrões.

3.4.4 Postes emendados com prisma de concreto

A emenda dos módulos foi composta por dois prismas justapostos, um em cada lateral da gaveta no trecho da emenda, sendo as partes travadas por intermédio de 04 conjuntos de parafusos específicos para não apresentar deformação permanente, conforme norma de Materiais de Distribuição utilizado nas redes de distribuição aéreas.

Como pode ser observado Figura 46, os parafusos foram instalados inicialmente com o poste posicionado com a gaveta voltada para cima, a fim de facilitar o encaixe das peças, ou seja, dois prismas de concreto e as peças do poste modulado. Após os parafusos estarem posicionados com um primeiro aperto, o poste é girado em de 90°, ficando com os prismas nas laterais o que

facilita o alinhamento dos módulos e o acoplamento das chaves nas cabeças dos parafusos para aperto final, posição definida para execução do teste de içamento.



Figura 46: Instalação dos parafusos para travamento dos prismas

Depois de fixados os prismas e devidamente apertados os parafusos o poste modular foi posicionado próximo a um sistema de guindaste existente na indústria, utilizado para movimentação das peças até área de estoque.

Para avaliação das peças emendadas no ensaio de resistência ao içamento foi pré-determinado o roteiro a seguir:

- Posicionamento do poste com emenda na face A (face maciça), a de maior resistência voltada para cima e a face B (lateral das gavetas), voltada para lateral. Pois o prisma de concreto projetado como elemento de emenda, instalado na posição lateral suportaria inicialmente os esforços de flexão, pondo a prova sua maior resistência, como apresentado na Figura 47.



Figura 47: Poste com emenda tipo prisma posicionado para teste

- Para ensaio de içamento por dois pontos com balança, o posicionamento das pinças da balança deve atender a condição de equilíbrio do conjunto, como demonstrado na Figura 48 e previsto na NBR 9062:2006;



Figura 48: Poste modular DT suspenso com balança conforme NBR

- Para a suspensão do poste modular por um único ponto, utilizando uma cinta de lona como na Figura 49, o ponto de içamento deve ser no centro de gravidade do conjunto;
- Elevação suave do poste modular utilizando a cinta de lona posicionada no centro de gravidade, até altura de 1,00 m, sofrendo deformação por flexão concentrada na seção de emenda, gerando pontos críticos de tensões;



Figura 49: Poste modular DT suspenso com cinta conforme indústria

- Com o poste suspenso e estável, iniciaram-se os movimentos de balanço sucessivos e propositais, provocando o desequilíbrio entre as peças, para que ocorra concentração dos esforços sobre seção de emenda, o que sobrecarregaria a junta existente entre os módulos. Este teste prático foi denominado de ensaio de içamento com ação dinâmica;

Se após a execução das tres etapas dos testes de içamento forem verificadas que o conjunto está retilíneo, a seção de emenda travada e sem abertura da junta, inicia-se o próximo teste com execução do ensaio de elasticidade em bancada, que deve ser realizado nas duas faces, como padronizado na NBR 8451-2: 2013.

Para a determinação elasticidade da estrutura, o poste modular foi posicionado em bancada de teste específica, com a base engastada e solicitado à flexão por carga de tração aplicada no topo da estrutura, com valor da resistência nominal (100%RN), crítica (140% RN) e de ruptura (200% RN), pelo ensaio de elasticidade. Devendo ser realizado somente nos postes modulados que suportarem os ensaios de içamento com ação dinâmica.

Para efeito de comparação o mesmo tipo de ensaio foi realizado no poste padrão sem emenda, como mostra a Figura 50, sendo observada a relação entre deformação e a geração de fissuras capilares superficiais, até o limite definido na NBR 8451-2: 2013, sem a ruptura da peça.



Figura 50: Içamento com ação dinâmica no poste DT padrão

O surgimento de fissuras capilares no poste DT padrão está previsto na NBR 8451-2:2013 para o ensaio de elasticidade em bancada, contudo estas devem desaparecer depois de cessado o esforço equivalente ao limite de carga excepcional ($1,4R_N$) com retorno a situação de repouso decorrido o tempo de até 10min, a flexa residual registrada em relação à linearidade original do poste deve ser no máximo 0,35% do comprimento total do poste, neste caso de 36,75 mm.

Modificações no dimensionamento estrutural do poste DT padrão para viabilizar a produção de postes modulares não está descartada, contudo, a pesquisa teve como foco avaliar os sistemas de emendas para verificar a possibilidade de aplicação sem alterar os padrões de produção em vigor na indústria de postes pré-moldados. Desde que atendam aos limites de dimensionamento definidos nas normas NBR 8451-2:2013 e a NBR 6118:2007.

3.4.5 Prismas de concreto moldado em formas metálicas

Definido o procedimento de emenda iniciou-se a moldagem de novos prismas utilizando a mesma forma metálica da fabricação como molde. Situação que tem objetivo gerar uma pequena redução volumétrica na estrutura do prisma, para que seja perfeito o encaixe entre o prisma de concreto e a gaveta do poste, com folga para ajuste fino, evitando pontos com pressão localizada.

Para tanto as formas metálicas das gavetas foram selecionadas, executado pequeno ajuste, com cuidado na moldagem para obter um concreto compacto e sem defeitos, para não interferir na resistência do conjunto (Figura 51 A e B).

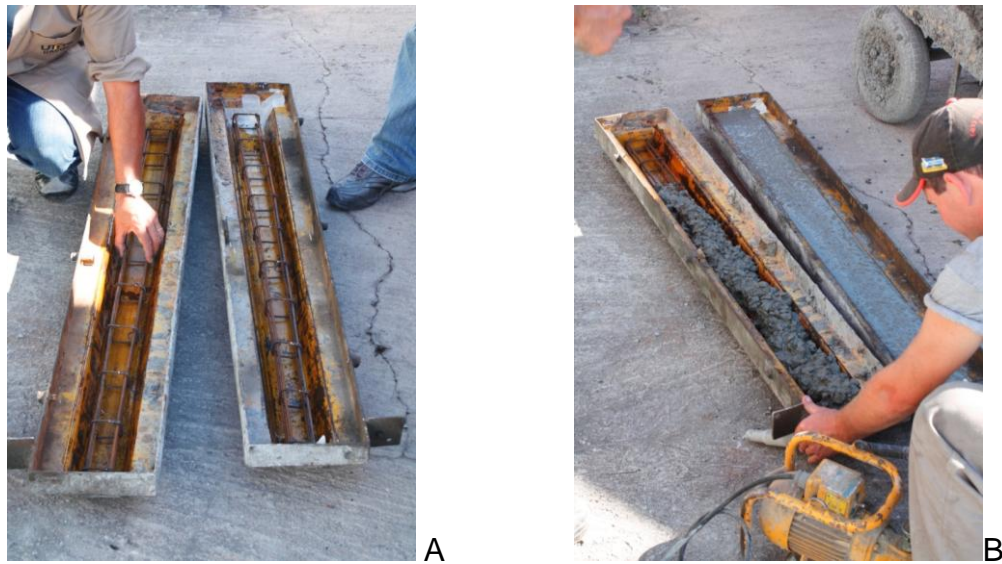


Figura 51: Moldagem dos prismas em formas metálicas

Para garantir o padrão das peças produzidas, foram consideradas as variáveis do processo produtivo, incluindo amostragem do concreto em corpos de prova cilíndricos e a proteção com filme plástico nos prismas recém concretados, para garantir cura úmida, como mostrado na Figura 52.



Figura 52: Proteção com filme de PVC para garantia de cura

Como método alternativo para combater o efeito cortante que os parafusos produzem sobre o concreto da alma da seção DT, foi idealizado um teste com reforço de cintas metálicas aparentes, simulando o efeito de confinamento.

3.4.4.1 Cintas metálicas como armadura de confinamento

Esta fase do projeto teve como objetivo avaliar o comportamento do sistema de emenda, para depois promover reforço ou alteração na seção transversal e taxa de armadura do poste, com a finalidade de eliminar o esforço cortante nos parafusos de fixação, gerado em função da flexão do prisma, que acentua a medida que aumenta a espessura na junta da emenda.

Nas Figura 53 e 54, está demonstrada a instalação da cinta metálica externa, que tem a função de confinar a estrutura de concreto, promovendo maior resistência ao esforço cortante gerado pelos parafusos sobre a alma de concreto da seção de emenda.



Figura 53: Cinta metálica para reforço da armadura transversal

O reforço estrutural com cintas metálicas serviu como teste preliminar para avaliar o comportamento da alma de concreto na seção da emenda por onde passam os parafusos de travamento dos prismas, eliminando o tempo de moldagem da nova estrutura concreto, com alterações na distribuição dos estribos. A configuração da seção de emenda ficou com as cintas metálicas

aparentes como na Figura 54, que não atendem as exigências de instalação, mais contribuíram para que rapidamente fossem visualizadas as deformações estruturais com a introdução de uma seção de emenda no centro de gravidade da estrutura.



Figura 54: Cintas metálicas distribuídas na seção de emenda

3.4.4.2 Solidarização do prisma com argamassa de alta resistência

Antes de promover alteração na armadura transversal da seção de emenda, foi proposto aumentar a aderência do prisma com a gaveta do poste com a introdução de uma argamassa para acatamento do prisma, eliminando principalmente os pontos de tensão concentrada na face da seção de emenda.

A argamassa fluida de alta resistência foi adicionada para melhorar o encaixe do prisma no interior da gaveta do poste. Com a união das faces que ficam justapostas nos dois lados da gaveta e a penetração da argamassa fluida em todos os espaços vazios, inclusive nas perfurações dos parafusos, buscou-se a solidarização do conjunto entre a estrutura do poste DT, o prisma de concreto e os parafusos de travamento.

Com a argamassa de alta resistência solidarizando os prismas de concreto com a alma da seção da emenda, buscou-se aumentar a taxa de armadura transversal que é inexistente na alma do poste. Este aumento poderia favorecer a

resistencia à flexão do conjunto, reduzindo o esforço cortante que atua sobre a alma de concreto.

Para testar esta configuração foi proposta a montagem de novo poste modular com emenda por meio de prisma de concreto, solidarizado com argamassa de alta resistência inicial e cura em 24 h (marca Rapgrout), inserida entre a superfície da gaveta e o prisma de concreto.

A utilização deste produto requereu mistura mecânica e aplicação imediata após a adição da água, lançando a argamassa fluída na gaveta do poste. A argamassa fluída tem que ser expelida como excesso de material. Um prisma de concreto deve ser encaixado de cada vez, sendo os prismas instalados em sequência, permanecendo em repouso por 24 h para garantir a aderência e resistência mecânica inicial. Foi tomado cuidado para o tempo de aperto dos parafusos de fixação do prisma, que deve ocorrer antes do início do processo de cura da argamassa.

O poste modular emendado permaneceu em repouso por 24 h, como mostrado na Figura 55, tempo necessário para argamassa atingir a resistência mecânica já na posição definida para realização dos ensaios de içamento utilizando a balança e a cinta.



Figura 55: Prisma fixado no poste modular com groute

A Figura 56 mostra a configuração do prisma instalado com argamassa de alta resistência. A inspeção visual demonstrou boa aderência na união entre os

materiais favorecendo a solidarização do conjunto, sem a geração de tensões localizadas de compressão, atendendo a um dos propósitos desta etapa.

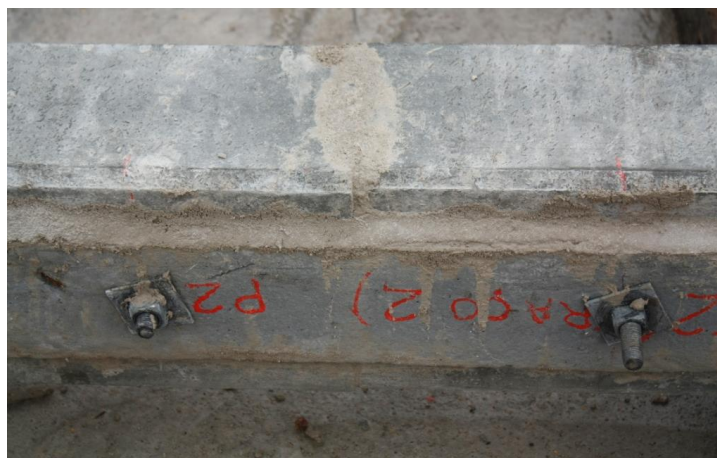


Figura 56: Emenda reforçada com argamassa de alta resistência

3.4.4.3 Alteração na forma e armadura do poste duplo T

Para a adaptação da forma e inserção de chapa metálica dividindo o poste em dois segmentos (Figura 57A), pequenas alterações foram realizadas no conjunto de fôrmas. Para aproveitamento do trabalho de serralheria também foi incluído a pré-furação na parte da alma da seção DT (Figura 57B), para passagem dos parafusos de travamento do prisma.



(A)



(B)

Figura 57: Adaptação da forma para fabricação do poste modular

Sendo os postes moldados especialmente para os ensaios, também foram propostas alterações na armadura transversal da seção de emenda, com objetivo de inibir o surgimento de trincas para a parte frágil da estrutura, ou seja, para alma da seção DT, na linha de perfuração dos parafusos.

Para corrigir a falha decorrente do corte com disco diamantado na preparação dos postes modulares, foi necessário passar a fabricar postes utilizando como elemento de separação na seção de emenda uma chapa metálica no formato DT, como demonstrado na Figura 57(A e B). Na Figura 58 pode ser observada que a face dos módulos na seção de emenda ficou plana e perfeitamente encaixada.



Figura 58: Junta plana sem folga para poste modular DT

3.4.4.4 Armadura transversal de reforço na seção de emenda

Três novos sistemas para distribuição da armadura de aço transversal foram apresentados e testados para combater a fragilidade da seção DT, frente ao esforço cortante que por não encontrar resistência, promove o alinhamento das perfurações dos parafusos de fixação, provocando ruptura da alma de concreto.

Para esta etapa dos ensaios foram previstas além da alteração na seção de emenda, com adaptação da chapa metálica soldada na forma para separação dos módulos do poste DT, como verificado na Figura 59A, também o preparação

de três configurações diferentes para as armaduras transversais ou estribos, caracterizadas como: DT, GANCHO e ZIGUE-ZAGUE, como mostrado na Figura 59B.

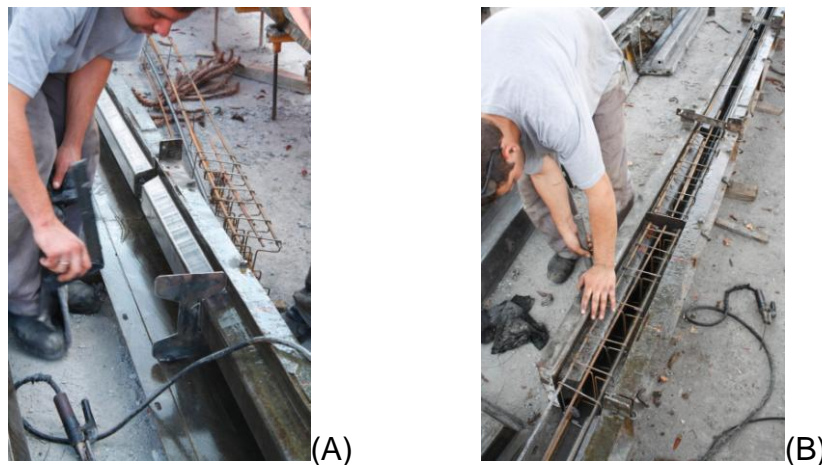


Figura 59: Chapa para separação dos módulos (A) e alteração nos estribos (B)

Para o posicionamento da armadura transversal DT, foi distribuído ao longo do comprimento da gaveta no trecho da emenda, 06 (seis) estribos de cada lado confeccionados em aço CA50 A de diâmetro 4,2 mm, com desenho similar à seção do poste DT, como observado na Figura 60.



Figura 60: Armadura transversal de reforço tipo duplo T

O tempo necessário para conformação e montagem deste tipo de estribo não proporcionou rendimento satisfatório, decorrente da variação no desenho da seção transversal e necessidade de acompanhamento da conexidade padrão do

poste, o que tornou trabalho pouco produtivo, exigindo maior atenção dos operários que estão mais acostumados a desenvolver atividades contínuas, não se preocupando com detalhes tão apurados como a conexidade.

Este tipo de armadura quando confeccionada manualmente, dificilmente obedece à redução nas dimensões estabelecidas pela conexidade existente no poste padrão, o que dificulta a instalação, uma das razões pela qual foi reduzida a quantidade de estribos nos trechos com gaveta, onde ocorre a redução na seção transversal.

Diferente do que ocorre com armadura tipo zigue-zague apresentada na Figura 61, que é simples para corte, dobra e montagem, no entanto, sendo recomendado utilizar como elemento de solidarização entre as armaduras o ponto de solda elétrica. O que seria correto para garantir a transferência do esforço cortante na região da alma da seção duplo T, provocado pelos parafusos de travamento do prisma, atendendo às recomendações previstas na NBR 9062:2006, item 7.2.3.1 que determina como método para solidarização das armaduras de aço embutidas em elementos pré-moldados solicitados a flexão.



Figura 61: Armadura transversal de reforço tipo zigue-zague

Para terceira opção como armadura de reforço transversal foi proposto à configuração com estribo no formato de gancho, além de ser simples o corte e dobra a montagem foi executada utilizando para amarração arame recozido nº18,

comum neste tipo de operação, foram implantados 10 (dez) estribos para cada lado da emenda, como apresentado na Figura 62,



Figura 62: Armadura transversal de reforço tipo gancho

Os estribos são fixados na barra de aço central e permanecem inseridos na alma da seção DT do poste de concreto, fortalecendo esta parte da estrutura que apresentou fragilidade quando solicitada pelos parafusos de travamento do prisma.

Para melhorar a precisão e facilitar os trabalhos de montagem do poste modular, foi alterada a forma do prisma, que além de ser moldada utilizando a forma metálica original da gaveta, foi adaptada com suportes para pinos passantes, que definem a posição dos furos no corpo do prisma para instalação dos parafusos de travamento, como nas Figura 63 (A e B).



(A)



(B)

Figura 63: Pré-furos de travamento (A) e forma do prisma modificada (B)

Sempre que foram previstos trabalhos para alterações nas formas metálicas, estas foram definidas em função da facilidade para execução, reduzindo a parcela do custo extra ao processo de produção existente na indústria.

Com algumas das adaptações procurou-se eliminar os retrabalhos e corrigir imperfeições, principalmente as que originavam pontos de tensões localizadas entre as peças comprimidas, como por exemplo: o desalinhamento entre o prisma e o encaixe na gaveta do poste, originado a partir da perfuração manual do prisma. Na Figura 64, podem ser vistos os prismas recém concretados com os pinos definindo as perfurações para os parafusos de travamento.



Figura 64: Prisma moldado na forma com pinos que definem a furação

Uma das deficiências observadas na seção da emenda quando aplicado o esforço de içamento com ação dinâmica foi o estilhaçamento da borda na região comprimida, em função da ocorrência de pontos com concentração de tensões de compressão na face da emenda, o que reduzia bruscamente a resistência da emenda pelo aumento da folga na junta de emenda das faces.

Na Figura 65, observa-se a nova configuração da seção de emenda, obtida a partir da concretagem utilizando a chapa metálica como elemento de separação dos módulos, que por serem moldados com a chapa metálica, proporcionam o assentamento perfeito entre as faces da seção de emenda, eliminando pontos de concentração de tensões, fazendo com que não ocorra o estilhaçamento das

bordas comprimidas. Esta modificação aumentou a reação aos esforços de compressão da seção emendada, gerados no içamento dinâmico por um ponto.



Figura 65: Junta de emenda com as faces planas e sem folga

A seção de emenda por não apresentar folga, garante o acoplamento entre as faces dos módulos emendados, aumentando a área de contato, o que proporciona área para distribuição dos esforços de compressão que deixam de ser em pontos concentrados. Evitando que se concentrem abaixo da linha neutra na borda comprimida, passam os esforços a serem distribuídos em toda a face da seção, aumentando a área de contato, o que garante melhor distribuição dos esforços de compressão.

As figuras a seguir demonstram a execução do ensaio de elasticidade, executado em equipamento específico e dimensionado de acordo com a NBR 8451-2013, apresentando-se bem pronunciada a seção de emenda, que ao deformar gera aumento na abertura da junta, dificultando a transferência dos esforços ao longo do comprimento da estrutura. O carregamento responsável pela deformação é aplicado pela força de tração que atua no topo do poste, mantendo a base travada, representando o engastamento no terreno.

Quando a força de tração é aplicada sobre a estrutura, com deformação orientada para face maciça, como na figura 66 (A) a face plana da seção da emenda promove diferencial evitando a concentração de tensões. Quando a tração é aplicada no sentido da face com gaveta, como da figura 66 (B), ocorre

compressão acentuada nos extremos da seção DT, caracterizando pontos de tensão localizada que fragilizam a estrutura.

Pode-se observar que a deformação foi maior na estrutura quando a face com gaveta foi solicitada a tração Figura 66 B, do que a deformação na face maciça Figura 66 A, para a mesma intensidade da força de tração. Ao invés da deformação ser distribuída ao longo do comprimento do poste, acaba concentrado na seção de emenda, sobrecarregando a borda comprimida.

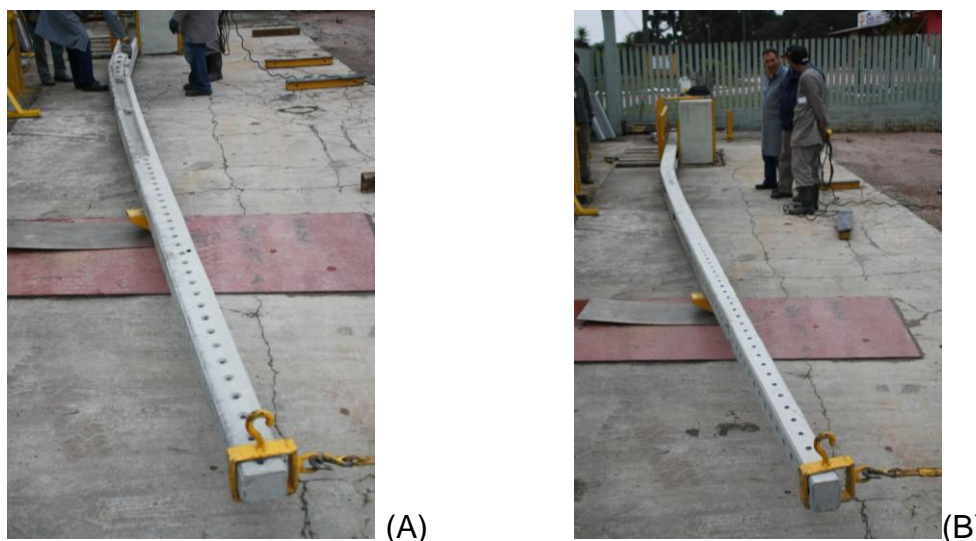


Figura 66: Ensaio de elasticidade com carga de 150 daN, atuando na seção principal (A) e seção com gaveta (B)

Devido à capacidade adicional do prisma para deformação por flexão, adquirida com a adição das fibras sintéticas no concreto, estes apresentaram maior resistência iniciando o processo de ruína depois de ter sido estilhaçada a seção da borda comprimida.

Na Figura 67, pode ser observada a deformação do prisma de concreto que tem resistência à flexão limitada à tração suportada pelas fibras que foram adicionadas ao concreto, anunciada pela presença das microfissuras capilares superficiais que surgem na face tracionada. Ao mesmo tempo a borda na seção da emenda do poste é comprimida, confirmando a existência de pontos com tensões elevadas de compressão, que por sua vez geram o estilhaçamento do concreto da borda comprimida, comprometendo a resistência da emenda.

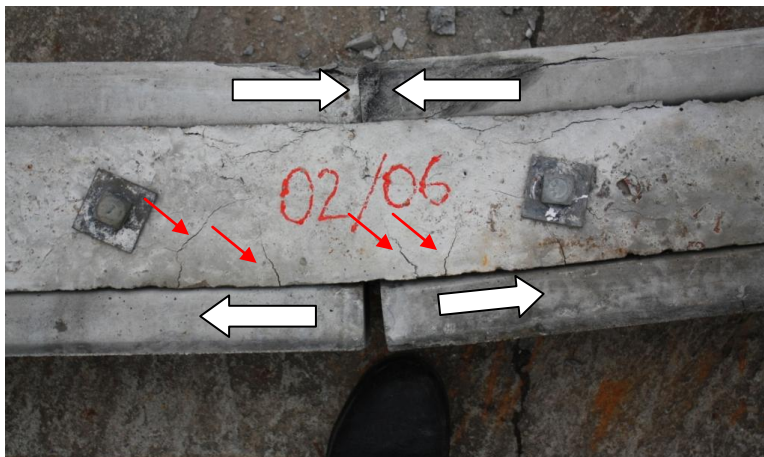


Figura 67: Deformação do prisma com carga de 150 Kgf/cm² atuando na face A (maciça)

Quando o poste modular emendado é testado no ensaio de elasticidade com a face B (com gaveta) suportando a tração de 150 kgf/cm², a resistência do prisma de concreto é menor, pois o esforço atua na seção de menor momento de inercia (menor altura) e por isso as fissuras capilares surgem antes mesmo da borda ser comprimida apresentando sinais de compressão localizada. Isto demonstra baixa resistência do prisma projetado para reforço na seção da emenda, quando os principais carregamentos atuam na face com gavetas.

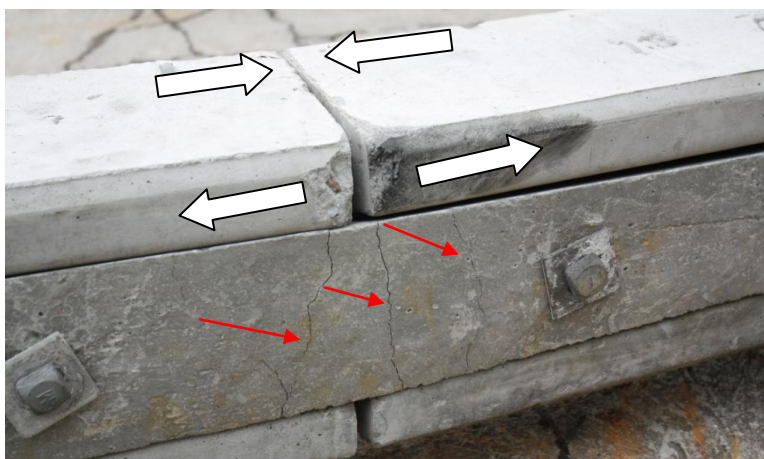


Figura 68: Deformação do prisma com carga de 150 daN atuando na face B (gaveta)

3.4.5 Emenda do poste duplo T com prisma + chapa xadrez

Foi definido um novo padrão para emenda com prisma, utilizando uma chapa metálica, também conhecida como chapa xadrez, em função das ranhuras existentes na superfície, com espessura de 5,0 mm, encaixada sobre a superfície de concreto e protegida por uma camada de groute que forma um prisma moldado direto na gaveta, onde o esforço cortante gerado pelos parafusos de travamento deveria ser absorvido.

Neste item foram considerados os parâmetros recomendados pela NBR 9062:2006 quanto aos cuidados nas etapas de desforma, transporte e montagem de peças pré-moldadas, como serem dotadas de dispositivos específicos para auxiliar nas etapas de içamento e transporte das peças nas primeiras idades, evitando exposição a esforços superiores aos dimensionados.

Foram aplicadas duas chapas de aço tipo xadrez espessura de 5,0 mm, com pinos soldados exatamente na posição dos parafusos de fixação (Figura 69 A e B), com objetivo de reforçar a armadura transversal do prisma.

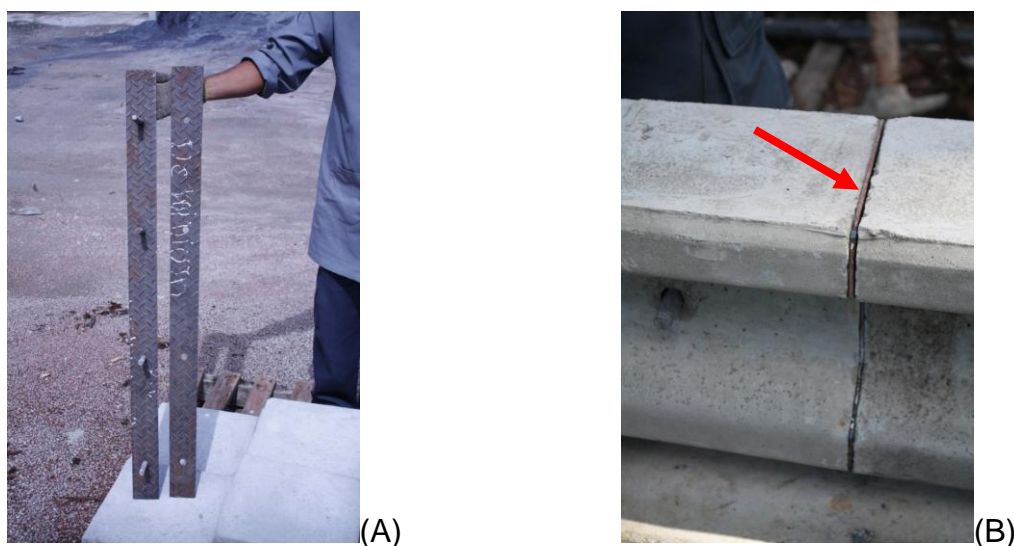


Figura 69: Chapa xadrez com pinos (A) e junta metálica para distribuição de esforços (B)

As chapas depois de posicionadas teriam como missão promover a solidarização inicial do sistema de emenda, além de compensar a deficiência pela

ausência dos estribos no trecho da gaveta, que facilitam a ruína da alma do poste pelo esforço cortante atuante na passagem dos parafusos de travamento.

Para distribuir melhor as tensões de compressão geradas na face da seção de emenda, também foi aplicada uma chapa de aço como junta na seção de emenda, conforme apresentado na Figura 69B.

Foram adicionados ao sistema de emenda três elementos que se adaptam perfeitamente aos módulos pré-moldados de concreto do poste DT. A chapa de aço ficou com a superfície ranhurada para o lado externo (Figura 70), para aumentar a aderência com argamassa de alta resistência que foi aplicada como material de proteção e reforço no trecho da gaveta, favorecendo a solidarização dos módulos.



Figura 70: Posicionamento da chapa xadrez na gaveta do poste

Sendo um requisito importante a ser observado, a facilidade de montagem deve ser executada em campo, com ferramentas manuais, como observado na Figura 71. O sistema de emenda com chapa xadrez se mostrou eficiente, pois proporcionou rigidez ao conjunto oferecendo facilidade para execução das operações de tombamento necessárias para o enchimento da gaveta com argamassa fluída de alta resistência inicial.



Figura 71: Solidarização da emenda por meio do aperto nos pinos

O preparo da argamassa foi mecânico como recomendado pelo fabricante, até atingir a consistência plástica ideal para escoar pela superfície interna da gaveta, sem adensamento, como mostrado na Figura 72, apresentando acabamento liso, similar à superfície de concreto aparente do poste DT.



Figura 72: Gaveta da emenda preenchida com argamassa de alta resistência

3.4.6 Emenda em poste DT com seção maciça

Para ilustrar o sistema de emenda para poste modular DT com seção maciça, foram realizadas adaptações na fôrma para absorver melhor as tensões de compressão na face de contato, a alteração do formato seção DT para seção

maciça, teve como objetivo aumentar a área para distribuição dos esforços de compressão. Como também, proporcionar um plano em 90 ° (ponto A), para travamento dos parafusos de fixação dos módulos, que deveriam desempenhar a função de suportar a abertura da junta na seção de emenda, sendo solicitado por tração onde o material apresenta bom desempenho, conforme a Figura 73.



Figura 73: Forma metálica modificada para emenda com seção maciça

Na Figura 74 A, mostra o posicionamento da chapa metálica (ponto B), que define a divisão do poste em módulos, e a posição das barras passantes que moldam a passagem dos parafusos de travamento dos módulos (ponto C).

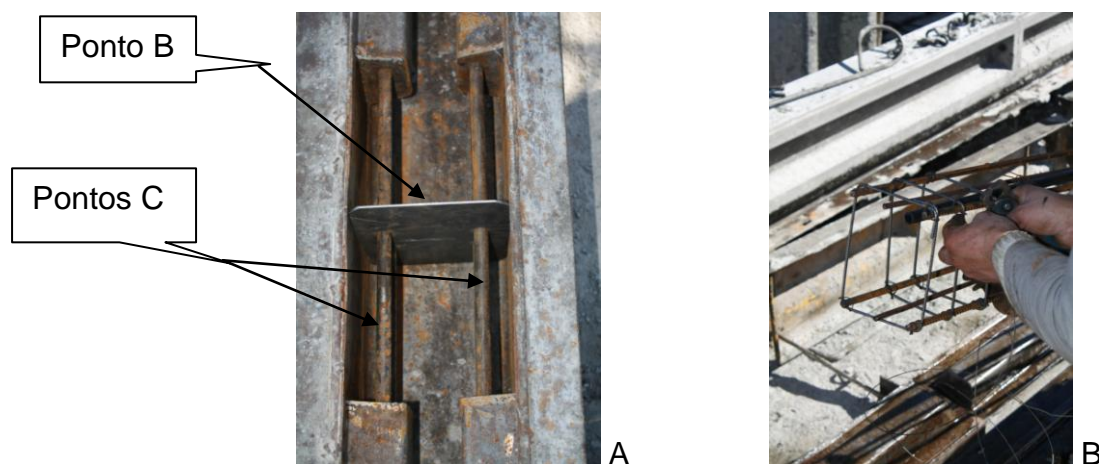


Figura 74: seção de emenda e barras passantes (A) e estribos quadrados (B)

A seção maciça teve como objetivo aumentar a distribuição dos esforços de compressão por uma área maior, que associada à presença da chapa metálica

como junta da emenda contribuiu para eliminar as tensões de compressão em pontos localizados, responsáveis pelo estilhaçamento da borda de concreto comprimida.

Outro ponto a salientar foi alteração no formato dos estribos, como mostrado na Figura 74 B, a qual apresenta seção maciça, mais regular para desempenhar melhor a função de absorver os esforços atuantes na aba inferior (borda comprimida). Como também, os esforços cortantes que serem absorvidos pelo maior número de estribos distribuídos no trecho da emenda, propiciando maior confinamento neste trecho da estrutura, além de ser facilmente montado e posicionado na armadura principal da viga, se adaptando ao processo de fabricação atualmente em uso.

Depois de promovida alterações na forma metálica e armaduras, o processo de concretagem foi executado para avaliar se as modificações sugeridas promoveriam alterações nas atividades rotineiras da produção, com supervisão para garantia da qualidade e cumprimento das normas.

3.5 Emenda em poste circular modulado

Nesta etapa a pesquisa teve como objetivo desenvolver um conjunto de emendas que, além de conter os requisitos necessários para a fácil montagem em campo, resistissem com segurança as deformações geradas pelos esforços atuantes nos movimentos de içamento comum nas etapas de transporte, atender as especificações contidas na NBR8541-2:2013, quanto aos limites definidos para o ensaio de elasticidade em bancada.

Obedecendo ao mesmo procedimento adotado para os ensaios realizados com o poste seção DT, foi executado o corte na seção circular no ponto correspondente ao centro de gravidade, que não coincide com a metade do comprimento do poste em função da conexidade existente na seção transversal, sendo o corte realizado, como mostra a Figura 75.



Figura 75: Recorte no poste seção circular para produção dos módulos

Com base nas deformações ocorridas no poste DT quando sujeito aos esforços decorrentes do içamento, e em relação à concentração de tensão de compressão nas bordas da estrutura na seção de emenda, foi definido que o teste preliminar seria a partir do içamento por um único ponto com ação dinâmica.

Foi projetado um sistema de emenda composto por dois componentes, luva externa e cunha interna, ambas fabricadas em concreto armado, produzidos com o mesmo traço utilizado na indústria de pré-moldados.

Os referidos dispositivos encontram-se de forma esquemática na Figura 76, que detalha a partir das dimensões da seção de emenda a definição das medidas da luva externa como da cunha de travamento interna, utilizadas como referência para a fabricação dos moldes metálicos.

Como estas peças devem funcionar sobrepondo a estrutura de concreto se faz necessária a previsão de folgas nas formas metálicas para posicionamento durante o processo de montagem. Com as peças nos seus respectivos lugares o travamento final se realiza com o preenchimento das folgas com argamassa fluída de alta resistencia. Para tanto foram posicionados pontos para aplicação da argamassa fluída nos moldes metálicos, facilitando a penetração do material.

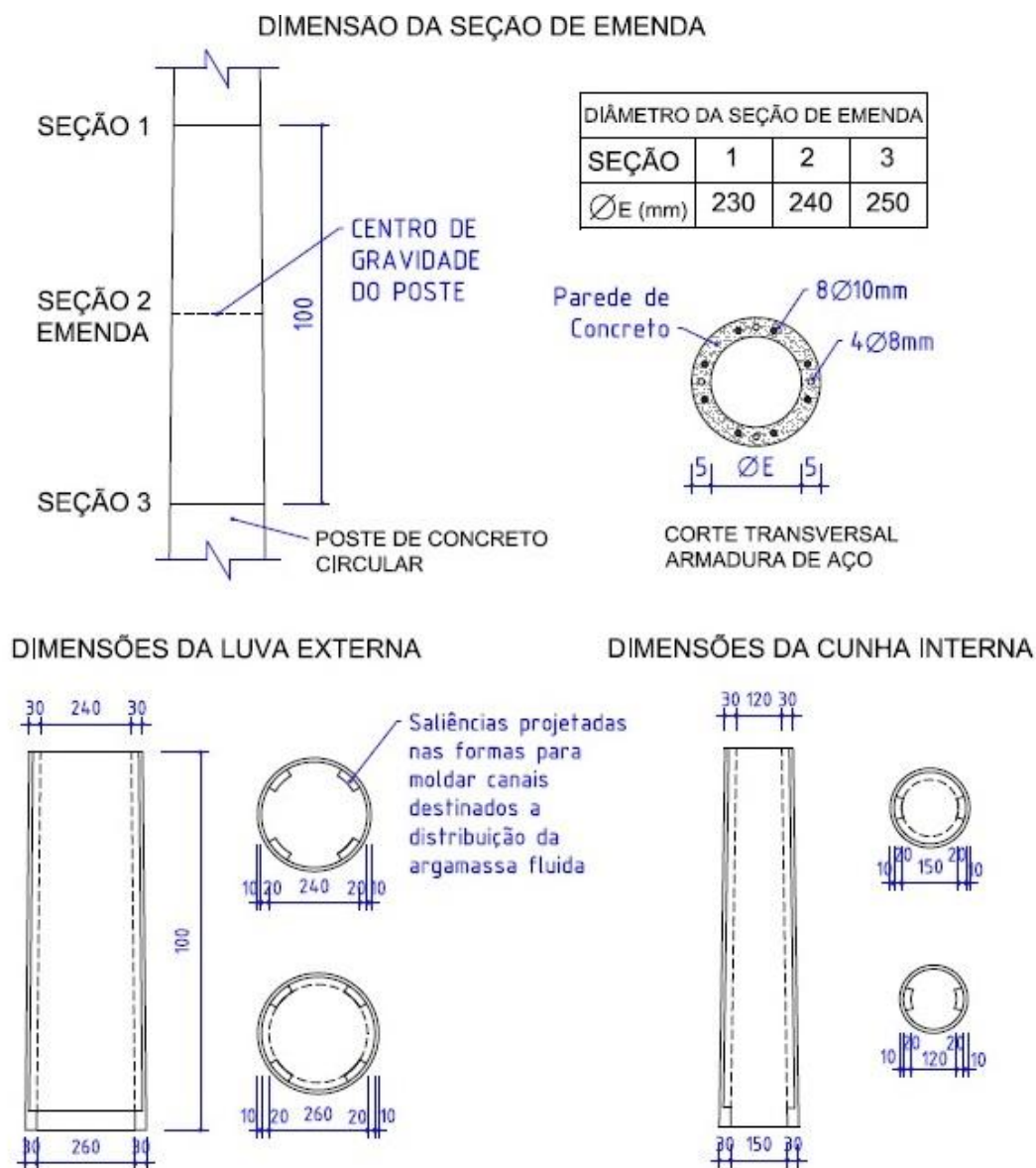


Figura 76: Desenho dos acessórios para emenda de poste circular

A Figura 78 demonstra a fôrma metálica fabricada em aço para a moldagem da cunha maciça de concreto para travamento interno e a Figura 78, ilustra as formas metálicas para moldagem da luva externa em duas peças e a respectiva armadura de aço CA 50 embutida na parede da luva de concreto.



Figura 77: Formas metálicas da cunha de travamento



Figura 78: Fôrmas metálicas e armadura da luva e cunha

A cunha projetada para aplicação na parte interna, vista na Figura 79 com a função de travamento dos módulos, tem sua constituição maciça, e como função, alinhar os módulos e depois de solidarizado com o groute (argamassa de alta resistência), exercer pressão funcionando como núcleo do poste que é fabricado com miolo vazado, aumetando sua resistência à deformação quando solicitado por flexão.



Figura 79: Molde e armadura da cunha interna

A luva de concreto armado projetada para a conformação externa sobrepondo a seção de emenda do poste, foi idealizada para ter liberdade de movimento, permitindo o correto posicionamento da luva. Os três furos existentes na parede lateral da luva servem para alinhamento das duas peças, materializando as perfurações utilizadas para acesso da argamassa fluída que deve preencher todas as folgas internas existentes para a montagem do conjunto, conforme pode ser visto na Figura 80.



Figura 80: Moldes metálicos da luva externa com armadura

Os componentes foram projetados de forma a moldar a luva com a mesma conexidade existente no poste. Os moldes da Figura 81 foram projetados para a utilização com concreto de consistência seca, com enchimento lento e de preferência com adensamento mecânico, para evitar falhas de concretagem, e permitir a desforma mais rápida para o reaproveitamento do molde metálico.



Figura 81: Molde metálico preenchido com concreto

O conjunto necessitou de ajustes para que a produção das peças de concreto atendesse aos requisitos de facilidade na moldagem e desforma, comumente exigido nas linhas de produção para peças pré-moldadas.

O conjunto de peças foi projetado para montagem em campo, envolvendo apenas dois operários, conforme descrição dos procedimentos a seguir:

- a) posicionamento dos módulos alinhados e nivelados nos trechos da seção de emenda, por meio de calços de madeira para a facilidade de instalação dos acessórios;
- b) pela base do poste foi encaixada na região interna a cunha de concreto maciça até atingir o travamento da peça na seção de emenda de menor diâmetro, ficando a outra extremidade com folga para preenchimento com a argamassa de alta resistência, após o posicionamento de todas as peças do sistema de emenda;

c) a luva externa, previamente instalada na peça de menor seção, depois de posicionada a cunha e alinhados os módulos, desliza fazendo coincidir a metade do comprimento da luva com a seção de emenda, como na Figura 82, deixando as perfurações existentes na superfície da luva voltadas para cima, a fim de permitir o preenchimento com a argamassa fluida de alta resistência;



Figura 82: Conjunto poste modular+luva+cunha posicionados

d) esta etapa de preparação e posicionamento da luva e da cunha leva pouco tempo, próximo de 30 minutos e foi efetuada cuidadosamente para propiciar o preenchimento com argamassa de alta resistência, a qual não pode apresentar espaços vazios, pois comprometem a resistência mecânica do conjunto;

e) o preenchimento das folgas internas com a argamassa fluída de alta resistência foi executado em uma única etapa, como mostra a Figura 83, sendo deixada em repouso por um período de 24 h para cura e aumento da resistência mecânica à compressão do conjunto.



Figura 83: Aplicação de argamassa de alta resistência

O conjunto foi preparado para ser movimentado por um único ponto e com ação dinâmica, para depois passar pelo ensaio de elasticidade, sobrecarregando a seção de emenda durante as operações de içamento, como mostra a Figura 84.



Figura 84: Poste circular içado por único ponto de apoio

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi projetada e montada uma via férrea com comprimento de 60 m e inclinação de 15%, onde uma vagoneta de peso 1000 kgf com carga adicional de 500 kgf, percorre a extensão da via até a colidir contra a estrutura de concreto do poste padrão das RDE..

Foi proposto como padrão de referência para a pesquisa avaliação dos danos provocados pela colisão gerada por um veículo popular de peso 1000 kgf, que ao se deslocar atingindo a velocidade de 45 km/h colide contra um poste de concreto das RDE, danificando e causando a ruína completa da estrutura.

Como a estrutura de concreto não suporta o impacto produzido pela colisão causada por um veículo popular com velocidade acima de 45 km/h, foi calculada a energia cinética (E_c) e o momento de impulso (I) gerado neste evento e referenciado como padrão.

A partir de ensaios reproduzindo o fenômeno de colisão utilizando um aparato para simulação do impacto em campo, foram reproduzidas colisões contra poste padrão das RDE, Sendo 02(dois) ensaios com postes de seção circular de PRFV e 05 (cinco) com seção DT de concreto armado. Preparados com sistema de proteção utilizando a luva de PRFV preenchida em todo o entorno com material específico para ação de amortecimento.

Os resultados destes ensaios serviram para avaliar se o sistema de proteção com luva de PRFV garantiria a integridade estrutural do concreto sob a ação de impacto, não suportada por uma estrutura sem proteção, conforme estudos realizados para postes de concreto de seção circular por Francisco e Da Silva (2010).

A velocidade final foi obtida substituindo-se os valores da proposta na fórmula de energia sem consideração das perdas da equação 4, onde temos que:

$$\text{Energia Cinética} \qquad \qquad \qquad E_c = m.v^2/2 \qquad \qquad \qquad (4)$$

Utilizando a fórmula de Torricelli para cálculo de velocidade final considerando as perdas por atrito, inclinação da rampa ($i=9^\circ$), deslocamento de 60 m, peso de 1000 kgf e velocidade inicial nula, substituindo na equação 5, tem-se que:

$$\text{Fórmula de Torricelli} \quad V^2 = V_o^2 + 2.g.(x-y\mu).d \quad (5)$$

Resultou na velocidade final de 38,48 km/h, bem inferior à proposta inicial de 45 km/h, o que implica na correção do valor do peso para gerar da energia cinética proposta de 78.125 J, aplicando o raciocínio inverso resulta na carga mínima necessária de 1376 kgf como peso total da vagoneta.

Adotado durante a realização dos ensaios o valor de 1500 kgf como carga total que promove o deslocamento da vagoneta, nas condições estabelecidas para o ensaio gera a energia cinética de impacto equivalente a 85.681 J.

Na realização do 2º ensaio foi proposta a medição da desaceleração com o emprego do acelerômetro, quando também foi calculada a velocidade de deslocamento, por meio do tempo de filmagem (frames), decorridos entre a passagem da vagoneta por marcas pré-definidas previstas nos últimos 10 m da via férrea, a fim de determinar a velocidade final antes do impacto, como apresentado no Quadro 18.

Quadro 18: Valores de velocidade e energia do ensaio

Dados	Velocidade proposta (km/h)	Peso (kgf)	Energia Cinética s/perda (J) Equação 4	Velocidade calculada para o ensaio (m/s) Equação 5	Energia Impactante recalculada no ensaio (J) Equação 4
Proposta	45,00	1000	78.125	38,48	57.126
Teórico A	38,48	1376	-	-	78.125
Teórico B	38,48	1500	-	-	85.681
2º ensaio	-	1500	-	43,20	107.281

Sendo aferida no ensaio de campo a velocidade de 43,20 km/h, a qual pela equação (4) determina energia de impacto superior, equivalente a 107.281 J.

Comparando os resultados apresentados por Francisco e Da Silva (2010) em relação aos valores de carregamento de 1000 kgf, tempo de colisão de 0,12 s a força gerada pelo impacto contra estruturas de concreto tipo poste circular sem proteção seria de 99.999,36 N, para velocidade final de 43,20 km/h.

Considerando as condições da pesquisa de carregamento de 1500 kgf e tempo de impacto de 0,25 s, obtidos com o monitoramento em campo e interpolando os valores, a força de impacto gerada a partir do teorema do Impulso e momento linear das equações 6 e 7, seria equivalente a 71.798,40 N, conforme Quadro 19.

Teorema do Impulso $I = \Delta p$ (6)

Momento Linear $\Delta p = m \cdot \Delta v$ (7)

Quadro 19: Valor da força de impacto do ensaio

Velocidade (km/h)	10	20	30	43,20	50	70
Força de Impacto (N)	23.148	46.296	69.444	99.999,36	115.741	162.037
Força de Impacto (N) para ensaio	71.798,40					

O valor encontrado na pesquisa estaria abaixo do valor apresentado por Francisco e de Paulo (2010), com um diferencial importante, pois para mesma velocidade final de 43,20 km/h a força de impacto gerada é 28,20% inferior, sendo a carga existente na vagonete 50% maior, como se explica o valor inferior de força de impacto para uma energia cinética maior adotada na pesquisa?

A resposta está no aumento do tempo de duração do fenômeno, que para o ensaio de Francisco e De Paula (2010) a colisão tinha duração de 0,12 s e no monitoramento aferido em campo foi constatada a desaceleração por um tempo de 0,25 s. Isto é resultado da interferência do conjunto de proteção interposto

entre as superfícies do poste e da barra de aço na vagoneta, que provocou deformação na luva e no material de enchimento, aumentando a duração do fenômeno da colisão, como consequência dissipando mais energia e provocando a redução na intensidade da força de impacto.

A redução da força de impacto mesmo sendo com valor da energia cinética mais elevada comprova a eficiência dos materiais que constituem o sistema de proteção no ponto de contato entre a vagoneta e a superfície de concreto do poste. Pois a vagoneta se mostrou indeformável, não consumindo energia de colisão com algum tipo de amassamento estrutural, portanto, a energia de colisão pode ser considerada aplicada 100% sobre a estrutura do poste de concreto.

A partir do conhecimento que uma parcela da energia de colisão aplicada sobre a estrutura de concreto poderia ser absorvida pelo sistema de proteção, foi concentrado observação no comportamento dos materiais que compõem a luva de proteção sobreposta na região do impacto. Sendo testados materiais com poder de deformação e amortecimento capaz de absorver parte da energia, reduzindo a intensidade do impacto e preservando a estrutura de concreto integra. Usando como referência a comparação entre diferentes padrões de deformações dos materiais.

Na sequência, estão apresentados os resultados dos 7(sete) diferentes testes de impacto ou “crash tests” desenvolvidos a partir da energia gerada pelo simulador de impacto.

4.1 ENSAIO DE IMPACTO – “CRASH TEST N° 1”

O material PRFV utilizado na produção da luva de proteção demonstrou atender aos critérios estabelecidos, apresentando resistência mecânica quando sujeita a força de compressão, representada pela capacidade de deformação quase elástica da seção transversal da luva de PRFV.

O esforço de tração suportado pelos fios de fibra de vidro, entrelaçados e unidos pela resina de poliéster, suportaram as tensões localizadas no ponto de

impacto nas diversas direções, sendo melhor distribuídas sobre a superfície da luva.

A força cortante foi contida em função da existência das lâminas de aço internas à espessura da parede da luva. As lâminas sendo duplas e extremamente finas são envolvidas por resina de poliéster, aumentando o poder para escoamento, distribuindo melhor as tensões de cisalhamento por uma maior área superficial, o que reduziu a intensidade da força cortante.

A força de impacto pode ser considerada pontual, por ser pequena a área de contato entre a barra de aço na parte frontal do veículo de carga e a luva de PRFV. Sendo possível a transferência do carregamento para toda a circunferência da luva, em função da resistência inicial à força cortante, como desempenhado no ensaio de compressão diametral dos anéis de PRFV, provando que a distribuição da energia da colisão se processa por toda a seção circular da luva.

A luva apresentou comportamento linear frente à compressão diametral, até determinado valor de carregamento, que está em função do seu diâmetro e espessura do entrelaçamento que constitui o anel de PRFV.

A deformação da superfície da luva seguida da ruptura de alguns fios externos de fibra de vidro demonstrou a necessidade da existência do material de amortecimento, indicando que a areia foi ideal para a compactação, mas não para a deformação elástica do conjunto. A energia da colisão se não for dissipada pelo material de amortecimento, chegará ao núcleo do conjunto com intensidade muito alta e não será absorvida pela estrutura, que entrará em colapso devido ao baixo módulo de elasticidade e elevada resistência mecânica do concreto.

Um ponto a ser ressaltado foi à estabilidade vertical do poste de PRFV após a colisão com a vagoneta, apesar das deformações decorrentes das forças originadas pela energia da colisão. O conjunto deformou, retornando a posição vertical, permitindo a recuperação da estabilidade sem a ruptura da estrutura do poste.

O sistema de enrolamento contínuo “Winding” determinou a forma e resistência à luva de PRFV, apresentando bom desempenho tanto para deformação da luva transversalmente, como para elasticidade longitudinal.

Inicialmente, a forte ação cortante da barra da vagoneta sobre a superfície da luva de PRFV, reflexo da inércia do poste que estava engastado no terreno, provocou o rompimento dos fios na superfície mais externa da luva.

Decorridos centésimos de segundos, parte da energia da colisão foi absorvida pela compressão da seção transversal da luva, representando a etapa de amassamento. A energia restante foi responsável pela ação de resistência ao deslocamento, do conjunto luva + poste, que se deslocaram com a mesma velocidade deformando o terreno, sem gerar danos estruturais, movimentando o conjunto até encontrar a parede da camisa metálica, comprimindo a estrutura da luva na base. A deformação ocorrida nos materiais de proteção foi característica de comportamento quase elástico, importante para a redução dos danos, contudo, uma parcela elevada da energia de colisão foi dissipada na última etapa, não caracterizando a eficiência do material de enchimento pela deformação dos materiais.

A Figura 85, mostra a sequência de fotos ou frames registrados durante o teste de impacto. Uma vantagem observada foi que no momento da colisão a estrutura da luva se deformou sem lançar pedaços de material, como foi o caso evidenciado pelas estruturas do tipo manilha de concreto que foram utilizadas nesta prática.



Figura 85: Frames do momento do impacto no poste de fibra.

Como resultados gerais complementares, também foram avaliados:

- danos na monovia – não foram evidenciados;
- danos na vagoneta - não foram evidenciados;
- situação observada no ponto de impacto - afundamento visível na superfície da luva, conforme ilustrado na Figura 86. A força cortante que atuou no ponto de contato entre as superfícies, provocou cisalhamento dos fios de fibra de vidro mais externos, até atingir o limite com o contato das lâminas de aço, sem romper a parede da

luva, forçando sua deformação e a compressão do material de amortecimento, sem comprometer a estabilidade do conjunto.



Figura 86: Deformação da luva de proteção após impacto

- situação da base engastada no terreno – houve deformação no sentido de aplicação da força do impacto, com retorno parcial da base a posição inicial, devido à constituição mais flexível do poste de PRFV, o que lhe conferiu deformação tanto ao ser comprimido na seção transversal de impacto, quanto de elasticidade no sentido do comprimento da luva.
- comportamento do material de enchimento – a areia como material de enchimento foi de fácil aplicação, porém, formou uma camada densa incapaz de absorver as tensões de compressão antes de promover o deslocamento do conjunto, certamente devido a pouca espessura.
- comportamento do sistema de engastamento – as vigas de madeira instaladas no lado oposto ao impacto, de tamanho superior ao trecho engastado, elevaram-se até a altura do ponto de impacto, oferecendo resistência extra à deformação longitudinal da luva. Provando ser importante a introdução de um material com flexibilidade e resistência a tração, similar às fibras de madeira para dissipar parte da energia ao deformar.

4.2 ENSAIO DE IMPACTO – “CRASH TEST N° 2”

O monitoramento da desaceleração conforme gráfico da Figura 87, teve a duração aproximada de 0,80 s, sendo que o efeito destrutivo sobre a estrutura do poste pode ser distribuído em três momentos distintos:

a) início do fenômeno a partir do contato entre a superfície da luva de proteção em PRFV e a barra de aço da vagoneta, no instante de 8,18 até 8,25 segundos, caracterizado como a reação da inércia entre os corpos. Quando ocorre a desaceleração que passa de 0,0 g para menos 0,5 g em função da resistência da luva de proteção ao esforço cortante;

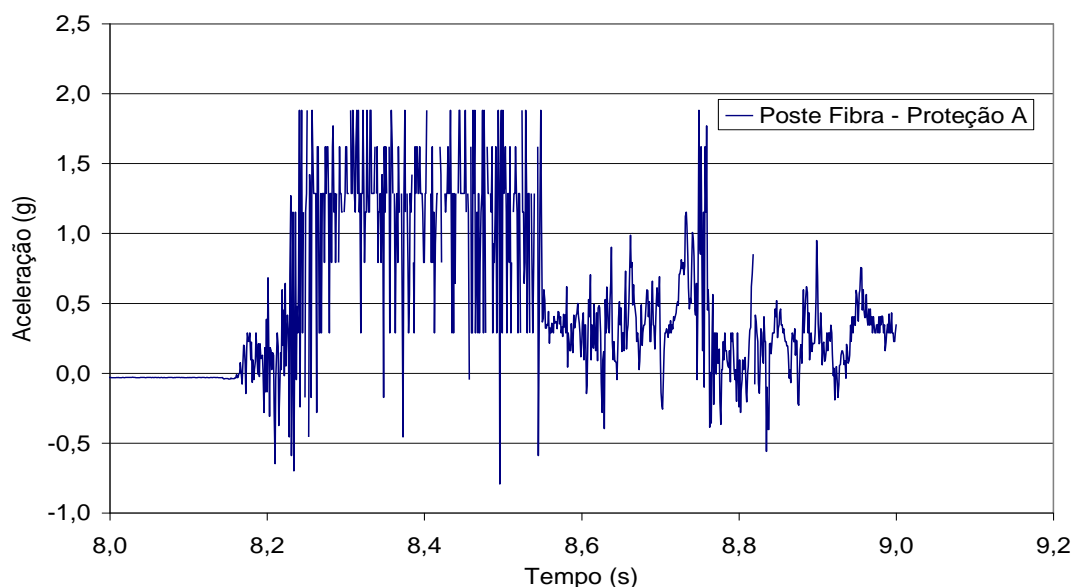


Figura 87: Gráfico da desaceleração do conjunto luva de proteção + poste de PRFV

b) no tempo de 8,25 até 8,55 segundos, ocorre a compressão da luva caracterizando a fase de amassamento e deformação dos materiais, quando ficam enfatizadas as características de amortecimento dos materiais de enchimento interno da luva e os corpos que desenvolvem a mesma aceleração de 1,7 g.

Do instante 8,25 até 8,55 segundos, ocorre reação ao impacto provocado pela vagoneta sobre o conjunto, neste instante atua o sistema de proteção, sendo representado no gráfico da Figura 84 como o trecho de aceleração próximo de

1,7g. A representação gráfica da absorção de energia deve apresentar na ordenada de tempo o intervalo de maior duração, com queda suave para a condição de aceleração nula, (parada de movimento).

Neste ensaio a queda de aceleração foi acentuada, sendo de 1,7g para próximo de 0,3g, em função do baixo rendimento do material de amortecimento, representado pela espuma de poluuretano expansiva, que foi comprimida sem oferecer resistência a deformação e por isso sem absorver energia.

c) na sequência teve início a terceira fase de deformação, representada pela tração dos fios de fibra de vidro, ocorrida com a deformação da luva na base junto à borda da camisa metálica, absorvendo uma parcela de energia do movimento entre o tempo de 8,55 e 8,75 segundos, resultando em desaceleração. Isto provocou danos severos à estrutura da luva e do poste, prejudicando a estabilidade do conjunto, como demonstrado na Figura 88.



Figura 88: Deformação do conjunto após a colisão

O fenômeno de dissipação de energia se desenvolve em um intervalo de tempo curto e com pouca absorção de energia, pois a estrutura metálica da vagoneta não deforma. Como também, a energia não pode ser dissipada para o terreno, em consequência do travamento obtido com as 12 vigas de madeira dispostas ao longo do contorno da camisa metálica.

Para a interpretação completa do gráfico de desaceleração do ensaio, observa-se um novo momento de colisão, representado na ordenada de tempo superior aos 8,75s. Que corresponde ao instante em que a borda superior da caçamba da vagoneta entra em choque com a superfície do poste de PRFV, movimento gerado pelo problema no sistema de travamento da vagoneta no final da monovia, provocando impulso extra que acelerou para 1,8 g o conjunto poste+luva.

A ligação rígida promovida entre a base do poste e o terreno com as vigas de madeira ao longo de todo o perímetro se mostrou indeformável. Todo o esforço cortante foi concentrado no plano da camisa metálica, logo acima do terreno, provocando a deformação da luva com o rompimento dos fios na superfície externa, ocasionando danos a estrutura do poste de PRFV, instalado no seu interior, não chegando ao cisalhamento total o que evitou a queda instantânea.

Ficou demonstrado, também, que a estrutura da luva e do poste de PRFV não tem capacidade para suportar a ação das forças cortantes geradas pela energia do impacto no momento da colisão, quando for rígido o sistema de engastamento, por exemplo, se parte do trecho engastado no terreno for concretado. Similar ao que ocorre em muitos casos, quando as estruturas de concreto ficam penduradas somente pelas barras de aço do poste, pois a tensão gerada pela força de impacto é superior à resistência de compressão do concreto naquele ponto, o que causa a fragmentação da estrutura em forma de estilhaço.

Após a execução do ensaio de impacto N° 2, foi necessária intervenção mecânica no sistema de fixação do trilho guia localizado no final da via férrea, pois com o esforço mecânico resultante da colisão contra o conjunto de proteção, a vagoneta descarrilhou, provocando um segundo choque sobre a estrutura.

Observou-se que o tubo metálico instalado no solo para auxiliar os trabalhos de posicionamento do poste no ponto de colisão, provocou reação de apoio na parte engastada, simulando uma fixação muito rígida, maior do que ocorre com a instalação do poste diretamente no terreno, dificultando a

transferência de parte da energia gerada com o impacto para o solo. A superfície externa da luva foi tracionada, alongando 15 cm os fios da fibra sem seccioná-la.

Um ponto a ressaltar foi o desempenho do enchimento constituído neste ensaio pelo material expansivo EPS, observou-se que para essa amplitude de carregamento à compressão seria necessário que material apresentasse maior densidade promovendo resistência à deformação da luva para dissipar energia.

4.3 ENSAIO DE IMPACTO – “CRASH TEST N° 3”

A argamassa de cimento+areia+isopor promoveu boa aderência entre a superfície interna da luva de proteção e a superfície externa do poste de concreto, preenchendo com facilidade o espaço existente em todo o contorno da seção do poste DT.

No local protegido a força de colisão deformou a superfície da luva, registrando o formato da barra de aço da vagoneta como na Figura 89, sem ruptura dos fios superficiais de fibra de vidro.



Figura 89: Deslocamento do poste no sentido da colisão

Na extremidade inferior que permanece enterrada, não foram observados danos na estrutura da luva em função da deformação do terreno, confirmando o bom desempenho da argamassa de consistência seca com isopor, frente à compressão e ao esforço cortante, que preencheu todo o comprimento da luva.

A mistura da argamassa que compôs o material de enchimento protegeu o ponto de impacto, contudo, possibilitou a propagação das ondas resultantes do choque para a parte superior da estrutura, como consequência provocou a completa fragmentação da estrutura do poste, como mostrado na Figura 90.



Figura 90: Conjunto poste+luva de proteção após a colisão

Sendo importante salientar a baixa resistência estrutural para necessidade de prover os postes de concreto, em situação de risco de colisão, com dimensionamento específico, para suportar o esforço gerado pelo impacto, a fim de aumentar a capacidade de absorção da força dinâmica.

Na Figura 91, observa-se as duas extremidades do poste de concreto fraturadas, a luva de proteção apesar de deformada pela força do impacto manteve-se íntegra, evitando que a estrutura de concreto interna rompesse.



Figura 91: Fratura na estrutura nos pontos sem proteção da luva.

A extremidade da esquerda que é a seção superior da luva de proteção está fragmentada pela transferência de vibração, provocando na estrutura de concreto efeito conhecido como flambagem, pela ausência da armadura de aço transversal (estribos) e pela pré-existência de trincas no topo da peça, não oferecendo capacidade para suportar carregamentos laterais associados ao pulso transversal de impacto.

A extremidade da direita, trecho engastado rompeu depois da luva de proteção em função do esmagamento da estrutura contra a borda da camisa metálica, situação que se repete devido à sistemática definida para a execução do ensaio que prevê o uso da camisa metálica no ponto de engastamento do poste.

4.4 ENSAIO DE IMPACTO – “CRASH TEST N° 4”

A mistura de areia média + EVA granulado com Ø máximo de 9,5 mm, proporcionou um material com bom poder de absorção de impacto, pois não ocorreu rompimento da luva de proteção no ponto de contato com a barra de aço da vagoneta.

Com o objetivo de verificar a condição da estrutura do ½ poste duplo T, foi realizado corte da luva para inspeção da parte interna. Constatou-se que a força do impacto que atua sobre o sistema ainda ocorre com magnitude elevada, visto que a seção de concreto no ponto de contato estava fragmentada. Mostrando ser necessário aumento do espaço interno da luva, destinado ao material de amortecimento. Assim, parte da energia cinética seria absorvida pela deformação e amortecimento dos materiais, reduzindo a parcela de energia que gera a tensão de compressão sobre a estrutura de concreto.

É possível observar na Figura 92 que a reação ao impacto na parte superior do ½ poste ocorreu com menor intensidade, em função do desempenho do sistema de proteção com enchimento a base de areia + EVA, demonstrando absorção de energia e evitando a transferência de vibrações para parte superior da estrutura o que garantiu sua integridade.



Figura 92: Integridade da estrutura na parte superior do 1/2 poste DT

Como nos ensaios anteriores a parte inferior da estrutura foi danificada logo abaixo da luva em função da compressão sobre a borda da camisa metálica (sistemática do ensaio), conforme mostrado na Figura 93.



Figura 93: Fratura da estrutura na parte inferior do 1/2 poste DT

4.5 ENSAIO DE IMPACTO – “CRASH TEST N° 5”

Neste ensaio foi proposto um corte longitudinal na luva, na face oposta ao impacto, com o objetivo promover maior deformação da seção circular ao ser comprimida, liberando parte da energia que tende a ficar retida em função do sistema de enrolamento contínuo dos fios de fibra de vidro. A liberdade de movimento desenvolvida no conjunto propiciaria a dissipação da energia gerada

na colisão, com significativa redução da parcela transferida para estrutura. No entanto o recorte gerou deformação excessiva, sendo o poste e o material de enchimento expelido para fora do raio de ação da luva conforme a Figura 94.



Figura 94: Deslocamento do poste com a força da colisão

O posicionamento do poste mais afastado em relação ao ponto de colisão teve como objetivo aumentar a espessura da camada de amortecimento, exigindo intensa ação do material existente no interior da luva (mistura de areia + EVA).

A estrutura de concreto dos postes duplo T atualmente aprovado pela norma de padronização NBR 8451-2:2013 não define volume mínimo de concreto para resistir a ação da força da colisão no ponto de impacto (as abas DT), desempenhando somente a função de proteção pelo recobrimento do aço contra intempéries.

Mesmo com o posicionamento do poste mais afastado em relação ao centro da luva de proteção, a aba da seção DT que recebeu o primeiro impacto, fraturou, enquanto a aba oposta, que foi comprimida contra a parede de contenção de concreto, não apresentou sinais de fratura. Demonstrando que a estrutura de concreto até apresenta certa resistência à força de compressão distribuída, sendo muito mais frágil à tensão de compressão concentrada que predomina no instante que ocorre o fenômeno da colisão.

4.6 ENSAIO DE IMPACTO – “CRASH TEST N° 6”

A luva de proteção neste ensaio foi reforçada externamente com uma estrutura mais rígida composta pelo conjunto de 6 barras de aço, que ao sofrer o impacto provocaram reação intensa sobre a estrutura de concreto do ½ poste DT. A elevada resistência ao esforço cortante das barras de aço foi responsável pela deformação, curvando-se no ponto de contato e evitando o rompimento da luva. Entretanto a resina de poliéster responsável pela fixação das barras foi descolada da superfície da luva (Figura 95).



Figura 95: Desprendimento das barras de aço e afundamento da luva de proteção

Das 06 (seis) barras de aço, somente 04 (quatro) se deformaram, absorvendo o esforço cortante por estarem posicionadas antes do alinhamento da face da estrutura de concreto. Demonstrando que toda a energia foi concentrada na direção radial da estrutura simulando uma condição de impacto mais intenso por não existir a componente da força de impacto tangencial.

Foi constatado que a resina de poliéster teve bom desempenho como material de adesão, ficando a resistência de tração ao encargo dos fios de fibra entrelaçados, que por terem sido suprimidos ocasionaram pontos de fragilidade na aderência das barras laterais, facilitando a deformação por flexão.

Já, a estrutura de concreto, mais uma vez provou não ter resistência suficiente para absorver a onda de impulso gerada com o impacto, uma vez que o esforço cortante predominante foi contido pelas barras de aço.

A instalação de um elemento rígido na parte frontal da luva de proteção não contribuiu para o amortecimento da energia, pois mesmo com o deslocamento da estrutura para o aumento da camada de material de amortecimento não foi constatada absorção da energia. Sendo que as vibrações produzidas pelo impacto rapidamente foram conduzidas até a parte superior da luva, tendo como resultado a fragmentação da estrutura de concreto.

Quanto maior a rigidez da parte externa do sistema de proteção mais rapidamente a vibração das ondas do impacto são transferidas para a estrutura de concreto. Eliminando do processo a fase de amassamento que é caracterizada pela deformação dos materiais, responsável por dissipar a maior parcela da energia. Na Figura 96, apresenta-se o poste com indicações das regiões danificadas pelo impacto.

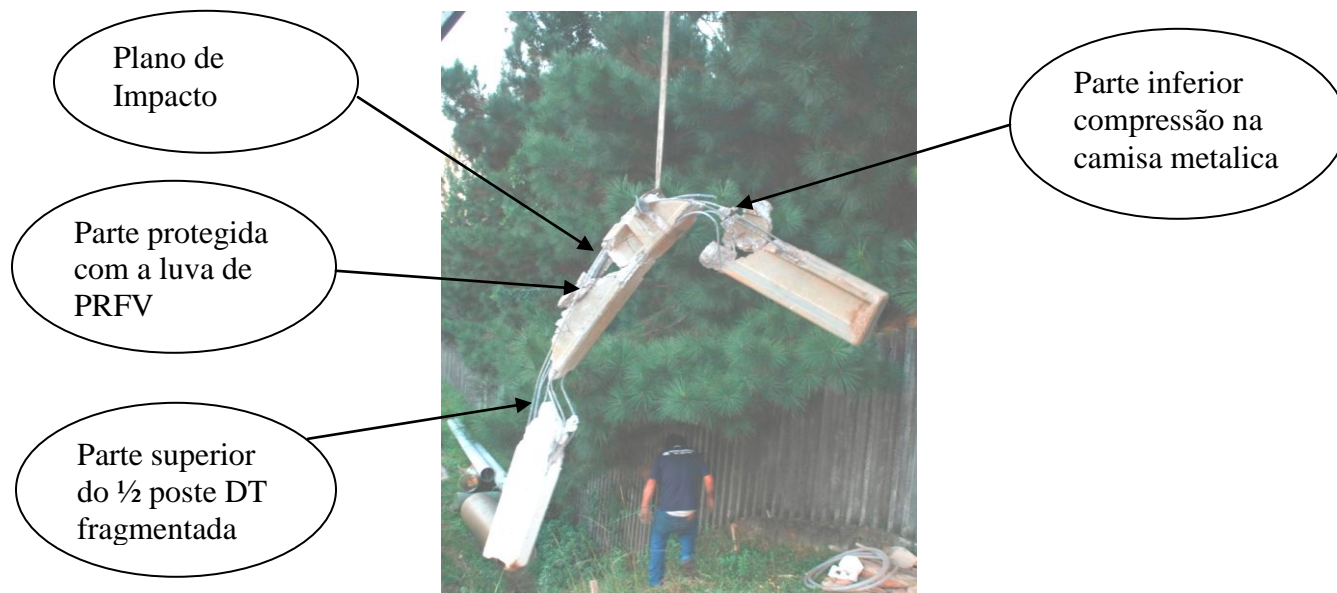


Figura 96: Fraturas na estrutura de concreto

4.7 ENSAIO DE IMPACTO – “CRASH TEST N° 7”

Avaliando as deformações provocadas no conjunto de proteção e na estrutura de concreto do poste, ficou visível que a barra de impacto posicionada na parte frontal da vagoneta por ser resistente, transmite integralmente para o poste a força de colisão. Assim, esta não apresenta formato adequado que contribua para dissipação da força de impacto. Casos opostos são apresentados pelos para-choques projetados para veículos, que não apresentam esta rigidez associada à característica cortante.

A instalação das carcaças de pneus na parte externa do sistema de proteção foi prevista para desempenhar a função de elemento amortecedor preliminar, tendo a tarefa de absorver a maior parte da energia gerada na colisão, já que, internamente, foi instalada mais uma luva de PRFV, para proteção do frágil sistema estrutural do poste duplo T de concreto.

A coluna formada com as carcaças de pneus poderia ter oferecido maior resistência à deformação caso os pneus fossem preenchidos internamente, evitando o amassamento e a deformação por estarem vazios.

As Figura 97, 98 e 99 apresentam a série de registros fotográficos que demonstram o fenômeno da colisão sobre a estrutura de concreto, com luva de proteção externa utilizando carcaças de pneus, idealizada para este teste.

Em função do formato cortante da barra no ponto de impacto da vagoneta, ocorreu a penetração na superfície da luva externa, mas na sequência passou a atuar o efeito amortecedor da coluna de pneus, que absorvendo a energia do impacto promoveu o deslocamento do conjunto, o que foi positivo para a dissipação da energia com a deformação do terreno.

Prova do efeito amortecedor promovido pela coluna de pneus está na parte superior da estrutura de concreto que se manteve íntegra, mesmo sendo o conjunto de proteção comprimido contra a parede de contenção na face oposta ao impacto.



Figura 97: Posição do conjunto depois do impacto da vagoneta



Figura 98: Cisalhamento da luva externa com o impacto da vagoneta



Figura 99: Deslocamento do conjunto com a energia do impacto

O efeito resultante da colisão sobre o poste pode ser visualizado na Figura 100.



Figura 100: Remoção do poste de concreto depois da colisão

4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A EFICIÊNCIA DO SIMULADOR DE COLISÃO

A condição prevista no experimento para simulação do ensaio de “crash test”, com transferência da energia cinética em unidade de força de impacto, aplicada sobre as estruturas de concreto tipo postes das RDE, poderia ser até considerada mais exigente do que o fenômeno da colisão veicular que ocorre em vias públicas, com base nos seguintes fatores:

a) não ter redução de velocidade provocada pelo instinto natural de proteção, com acionamento do mecanismo existente no veículo para desaceleração (freios), o que resultou no ensaio de colisão com 100% da energia cinética transformada em força de impacto;

b) a pré-colisão com outros anteparos antes do impacto contra o poste de concreto das RDE, como por exemplo, a passagem por cima do meio fio, canteiros com grama e barreiras de concreto que acabam reduzindo a velocidade da colisão, por consequência, reduzindo a energia a ser absorvida pelo sistema de proteção;

c) a rigidez da estrutura da vagoneta no ponto de contato com a superfície do poste, que se mostrou indeformável em função do reforço frontal realizado com chapas metálicas para enrijecer a estrutura, transferindo toda a energia que deveria ser absorvida na fase de amassamento dos corpos, para o sistema de proteção;

d) o fato da vagoneta não sofrer nenhum tipo de deformação, significa que toda energia do impacto foi aplicada diretamente contra o sistema de proteção, sem perda de energia cinética por meio do fenômeno de amassamento entre os corpos;

e) o eixo do poste estando alinhado com o sentido da força de colisão fez com que 100% da força de impacto fosse aplicada na direção radial, responsável pela geração de tensão de compressão e cisalhamento concentradas. Sem geração da componente da força tangencial que poderia dissipar parte da energia para fora da linha de ação do poste, reduzindo a intensidade da força de impacto. Em algumas cidades dos EUA, são instalados atenuadores de impactos, a fim de reduzir as consequências da colisão veicular, redirecionando o veículo para fora do campo de colisão das estruturas (BRIAN, 2001);

f) a configuração geométrica da barra frontal da vagoneta com característica cortante e indeformável, induzindo ao cisalhamento das estruturas, promove no veículo de carga um ponto crítico capaz de gerar danos em qualquer tipo de material. Normalmente, o local previsto para contato em caso de colisão tem uma configuração específica para alcançar a máxima deformação, reduzindo a energia de colisão e não assumindo a função de um elemento cortante.

As situações apresentadas são condições que contribuem para tornar mais severas as consequências do teste de impacto no experimento. Isto mostra certa tendência para comportamento mais eficiente do sistema de proteção avaliado, quando posto a prova nas condições reais para proteção das estruturas de concreto das RDE, contra colisão veicular nas vias públicas.

A facilidade para reproduzir ensaios dentro das mesmas características, possibilitou avaliar o comportamento dos materiais em arranjos diferenciados sem investimentos expressivos, como por exemplo, automação de veículos testes.

E por fim, a possibilidade de aumentar a energia potencial gravitacional, a partir do acréscimo de carga, foram diferenciais que viabilizaram a aprovação deste protótipo como um sistema para simulação de ensaios de “crash test”, avaliando o comportamento das estruturas de concreto armado tipo poste, projetadas para as RDE, frente à ação destrutiva da colisão veicular.

4.9 ENSAIO COM PRISMA EMBUTIDO NA GAVETA DO POSTE

No primeiro ensaio de içamento com balança, o poste modular não suportou os esforços, gerando trincas estruturais que foram analisadas para identificação de falhas, com o propósito de apresentar melhorias ao sistema de emenda da Figura 101.

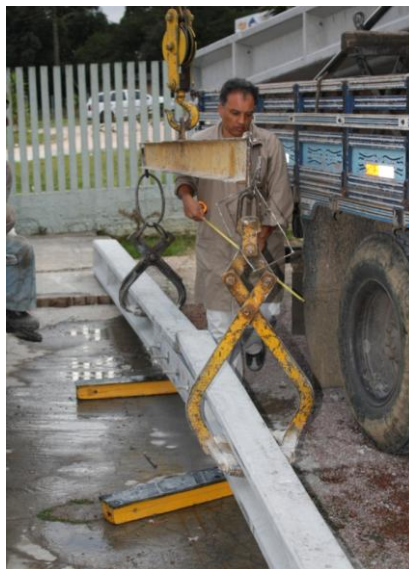


Figura 101: Conjunto modular fraturado durante operação de içamento

Como apresentado nas Figura 101 e 102 a fragilidade da estrutura de concreto na seção da emenda tem origem a partir dos seguintes fatores:

a) fragilidade da alma de concreto no ponto de passagem dos parafusos (Figura 102) que por estarem alinhados configuram uma seção de ruptura;

b) compressão da borda do prisma contra a parede da gaveta do poste, gerada em decorrência da folga existente pela falta de precisão na moldagem do prisma como na Figura 102, por ser executada diretamente na gaveta do poste não apresenta folga mínima necessária para ajuste de montagem;



Figura 102: Condição da emenda após içamento

c) compressão exagerada na aba inferior da seção de emenda, em função da folga provocada pelo recorte realizado na estrutura do poste, para divisão da peça em módulos, executado manualmente sem um critério de precisão cuidadoso, gerando liberdade para deslocamentos e ocorrência de folgas (Figura 103);



Figura 103: Folga na junta de emenda decorrente do recorte com disco

d) concentração do esforço cortante nos quatro parafusos em função da folga na furação, favorecendo a deformação das peças e aumentando a espessura da junta à medida que a estrutura foi solicitada à flexão;

Após a remoção dos parafusos e dos prismas, a estrutura apresentou trincas e deformações que caracterizaram o esforço atuante, como também, a fragilidade, demonstrando não ter capacidade para suportar uma seção de emenda localizada no meio da gaveta, junto ao centro de gravidade da peça. Neste ponto a seção de concreto tem área reduzida em 38%, comprometendo a capacidade de absorver as elevadas tensões de compressão atuantes principalmente na aba inferior.

O esforço foi mais intenso na alma da seção DT, onde o volume de concreto é reduzido sem a existência de armadura de aço para conter o cisalhamento, como mostra a Figura 104, onde o rompimento da alma foi facilitado pelo alinhamento dos furos para passagem dos parafusos de travamento.



Figura 104: Cisalhamento da alma do poste seção DT após ensaio

Além dos fatores geométricos, surgiram dois fatores de carregamento, que induziram as deformações promovendo liberdade de movimento, assim que as cargas entraram em ação, com abertura da junta entre as estruturas emendadas:

a) aumento na deformação em decorrência da acomodação das 04 partes que compõe o poste modulado, quando solicitado pelo içamento dinâmico;

b) o aumento da espessura da junta de emenda permite maior flexão do prisma comprimindo sua extremidade na parede da gaveta do poste, pois no sistema de emenda por encaixe as tensões são dissipadas pelo contato entre as peças.

Durante o desenvolvimento do teste de içamento, foi observado que a compressão da borda do prisma teve início muito antes da fratura da alma no ponto de passagem dos parafusos, demonstrando ser prejudicial à liberdade de movimento gerada pela abertura da junta na seção da emenda.

O prisma moldado diretamente na gaveta não levando em consideração a redução do comprimento em função do corte do poste em dois módulos, não apresentou encaixe perfeitamente plano entre as faces, concentrando tensões em pontos de contato específicos, entre os elementos estruturais.

4.10 ENSAIO DE EMENDA REFORÇADA COM CINTA METÁLICA

As cintas metálicas apresentaram no início uma melhora na deformação da junta no ponto da emenda, contudo após aplicar o esforço com ação dinâmica, caracterizada pela oscilação e desequilíbrio entre os módulos, a espessura da junta aumentou gradativamente na borda superior, comprimindo o concreto da borda inferior.

Foi comprovada a eficiência do reforço estrutural com a instalação das cintas metálicas associada à ação de uma junta elástica na seção da emenda, pois, o conjunto modular com emenda suportou o esforço caracterizado pela deformação gerada com o içamento com cinta, acrescido do balanço com ação dinâmica que transcorreu sem gerar fratura na estrutura de concreto.

Pequenas fissuras apareceram mapeadas na superfície do prisma, levando ao estudo das deformações ocorridas. O sistema de emenda foi desmontado e

avaliado cada um dos componentes, buscando identificar falhas para que o conjunto apresente a segurança exigida pelas normas técnicas.

Com a retirada do prisma e acessórios de fixação, foi observado na Figura 105 que a alma do poste DT entrou em colapso, gerando no sentido horizontal uma trinca unindo as perfurações executadas para a passagem dos parafusos. Este fato comprovou que a alma do poste DT necessita de armadura de aço para suportar o esforço cortante, evitando a transferência ao concreto do esforço de tração que se dissipa inicialmente na direção da menor seção transversal.



Figura 105: Alma do poste DT com trinca longitudinal

Foi verificada a necessidade de reforço estrutural na armadura de aço transversal do poste, principalmente nas gavetas do trecho da emenda, como também, evitar pontos de tensões concentradas pela falta de planicidade entre a face dos módulos, principalmente na borda inferior onde os esforços de compressão são elevados. Defeito que foi sanado com a instalação de junta elástica entre as faces na seção de emenda.

Da mesma forma ocorreram pontos de tensões no encaixe entre o prisma de concreto e a gaveta do poste, que necessitam de folga nas extremidades e ajuste perfeito ao longo do comprimento, para obter maior área de contato superficial, melhorando a distribuição das tensões.

4.11 EMENDA COM PRISMA SOLIDARIZADO COM GROUTE

Só a ação adesiva da argamassa de alta resistência não foi suficiente para transferir o esforço cortante, provocado pela pressão dos parafusos de travamento para a estrutura do prisma. Ocorreu antes a fratura da alma com a abertura da trinca na linha dos parafusos.

Como observado na Figura 106, a ruptura da estrutura do poste ocorreu somente em um dos módulos, exatamente na parte em que a seção transversal tem menor a altura da alma e maior fragilidade frente aos esforços cortantes que atuam com mesma intensidade nos 02 módulos.



Figura 106: Ruptura da alma pela ação do esforço cortante

4.12 ENSAIO ALTERANDO FORMA E ARMADURA METÁLICA

Conforme demonstrado pelos resultados, o poste modular não suportou os esforços atuantes na primeira etapa dos ensaios, a fragilidade do sistema de emenda provocava abertura da junta com a compressão da borda do prisma de concreto contra as paredes da gaveta do poste.

A liberdade de movimento na seção da emenda gerava deformação também no prisma de concreto, ao suportar os esforços de flexão, transferindo

aos parafusos de travamento as reações geradas com o carregamento imposto pelo teste de içamento.

Sendo a resistência dos parafusos a tração superior ao concreto, o esforço recai sobre a alma da seção DT, caracterizando-se como ponto frágil do conjunto enfraquecido pelas perfurações realizadas para passagem dos parafusos.

Foi alterada a forma metálica para moldagem do poste em dois módulos a partir da criação da seção de emenda, materializada com a confecção da forma bi-partida, que gerou alteração na característica da trinca estrutural. Pois esta não se propagou a partir da compressão da aba inferior como vinha ocorrendo, e sim na aba superior, decorrente do escorregamento da armadura longitudinal do poste na seção de emenda por deficiência de ancoragem no concreto.

Esta fratura demonstrou a fragilidade estrutural na aba superior, pela ausência de ancoragem das barras de aço quando solicitadas à tração na flexão, ocorrendo primeiro no módulo de menor seção transversal.

Depois do colapso da estrutura de concreto no trecho da emenda, foi investigado como o esforço cortante provocado pelos parafusos de fixação dos prismas influência na ruptura da alma. Este processo de ruína inicia sempre no trecho da emenda de menor seção transversal, com consequente deformação dos estribos como mostram as Figura 107 a 109.



Figura 107: Colapso da estrutura no ensaio de içamento com esforço dinâmico



Figura 108: Caminhamento da trinca unindo as perfurações

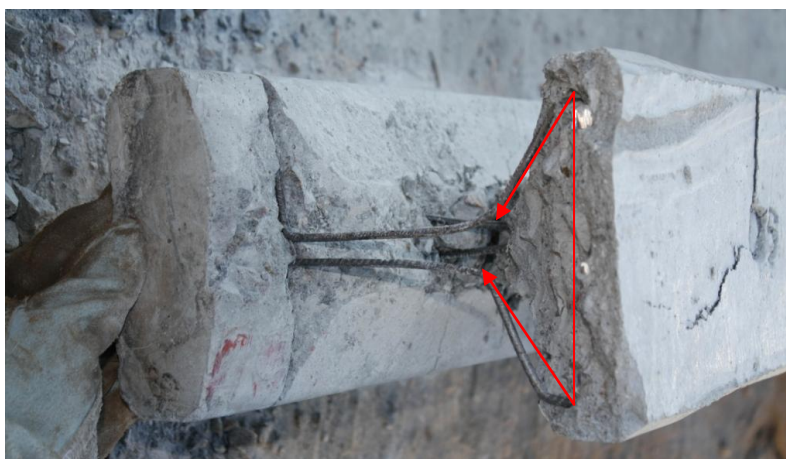


Figura 109: Deformação da armadura de reforço transversal (estribos)

Na tentativa de restringir a deformação das abas da seção de emenda do poste DT, foram ensaiadas mais duas unidades modulares de poste com reforço no trecho da emenda utilizando estribos do tipo GANCHO e ZIGUE-ZAGUE.

Para demonstrar a intensidade dos esforços gerados durante o içamento com ação dinâmica, observa-se na Figura 110 a condição de fratura do concreto na extremidade do prisma, por estar comprimido na gaveta do poste. Já, a estrutura de concreto do prisma, principalmente no ponto de perfuração para passagem dos parafusos de travamento ficou íntegra, ou seja, suportou o esforço cortante transferido pelos parafusos para o concreto nos quatro pontos.



Figura 110: Extremidade do prisma fraturada por compressão

Como solução para a deficiência na absorção dos esforços, foi proposta, em uma nova etapa de ensaios, a introdução de uma chapa de aço próximo ao ponto de fragilidade da estrutura ao cisalhamento, ou seja, junto a alma na passagem dos parafusos de travamento do prisma. Com objetivo de absorver as tensões de cisalhamento e reduzir a liberdade de movimento de flexão, a partir da rigidez estrutural obtida com chapa metálica, mais espessa, com função de solidarização do conjunto.

4.13 ENSAIO DA EMENDA REFORÇADA COM CHAPA XADREZ

Foi aplicado na face A (sem gaveta) o carregamento com tração de 150 kgf/cm², sendo a deformação do poste distribuída linearmente no sentido comprimento da estrutura dentro dos limites definidos em norma, demonstrando que a emenda com reforço de chapa metálica suporta a transferência dos esforços sem gerar as tensões em pontos localizados, comuns na emenda com prisma de concreto encaixado na gaveta.

Dando sequência ao ensaio foi observado que durante o intervalo de tempo obrigatório de 10 minutos, quando a estrutura deve permanecer sob ação da carga de 210 kgf/cm² previsto na norma NBR 8451-2:2013, a junta da seção de emenda teve aumento da abertura, com estilhaçamento da borda comprimida. Deformação originada pelo escoamento da barra metálica ao ser solicitado pela carga de tração durante o ensaio, conforme a Figura 111.



Figura 111: Deformação na seção de emenda com carga de 210 daN

Em decorrência da deformação da chapa metálica a camada de argamassa de alta resistência que não suportou esforços de flexão, deslaca completamente da superfície da chapa metálica, demonstrando a fragilidade na aderência entre a argamassa de alta resistência e as ranhuras existentes na superfície da chapa xadrez, como visualizado na Figura 112.



Figura 112: Descolamento do concreto da chapa Xadrez

A Figura 113, apresenta as chapas deformadas no sentido da aplicação da carga. Como solução para aumentar a resistência do conjunto frente aos esforços incidentes no ensaio de elasticidade, o aumento da espessura da chapa, acarretaria variação significativa no custo de produção do poste e também a redução da espessura da argamassa de alta resistência, facilitando o seu descolamento, por isso não sendo uma solução viável para o problema.



Figura 113: Deformação das chapas de aço que travam o conjunto

Mais eficiente seria o acoplamento da chapa metálica mais afastada do fundo da gaveta de encaixe, podendo assim aumentar a largura e a espessura da chapa xadrez, elevando a resistência frente aos esforços de flexão na razão quadrada em relação à variação da altura, em função do maior momento de inércia, obtido com a chapa mais larga e espessa.

Este fato ainda não resolveria o problema da deficiência na aderência da argamassa de alta resistência com a chapa xadrez, a argamassa por ser pouco flexível não suporta deformações por flexão na ordem de 3,5% do comprimento como definido na NBR 8451-2: 2013 para ensaio de elasticidade.

Foi proposta uma nova configuração para a emenda dos postes modulados de seção DT, denominada “emenda com seção maciça” a qual também foi preparada e testada por meio dos ensaios de içamento e elasticidade.

4.14 ENSAIO COM EMENDA EM POSTE DT COM SEÇÃO MACIÇA

A configuração estrutural do poste com emenda na seção maciça se mostrou bem acabada, com encaixe perfeito entre as superfícies de topo dos módulos, promovendo pequenas alterações nas formas metálicas e a fácil

montagem o que viabiliza a execução em escala industrial, conforme Figura 114 que mostra a estrutura travada com os parafusos longitudinais.



Figura 114: Configuração da emenda maciça em poste modular

Durante a aplicação do esforço de tração na face A (sem gaveta) correspondente a carga nominal de 150 kgf/cm^2 , surgiram fissuras superficiais na face tracionada, como visto na Figura 115 A. Na segunda parte do ensaio com aplicação da força de tração equivalente a 210 kgf/cm^2 , a estrutura não suporta e rompe na face tracionada, em função da perda de ancoragem e escorregamento da armadura na aba superior, que fissura a partir do primeiro estribo instalado no trecho maciço (Figura 115B).

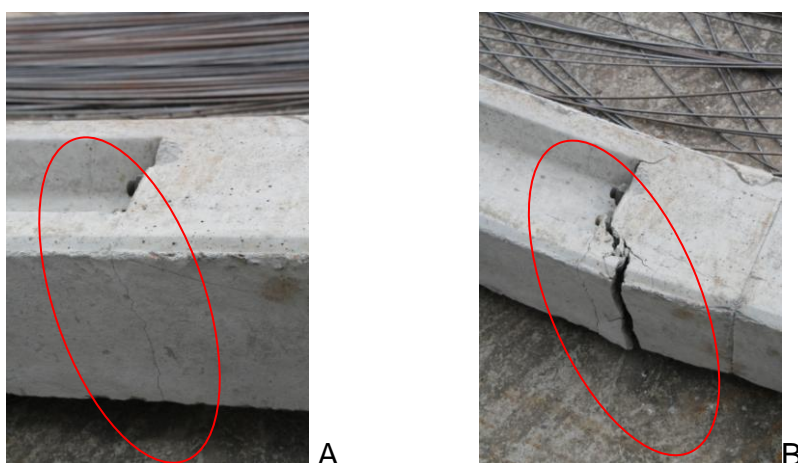


Figura 115: Fissuras superficiais (a) e estrutura rompida na seção maciça (b)

Este tipo de ruína é característica em estruturas de concreto armado com deficiência no comprimento de ancoragem na armadura para absorver a força de tração, esforço gerado pelo apoio na faixa maciça decorrente da pressão aplicada nos parafusos de travamento, responsáveis pela união dos módulos.

Certamente, a intensidade da força de tração que atua sob o concreto tende a diminuir à medida que se afasta da seção de emenda pelo efeito da ancoragem da armadura no concreto. Sendo desta forma importante que o comprimento da seção maciça seja no mínimo suficiente para equilibrar a tração que atua nos parafusos de travamento.

No Quadro 20 estão relacionados os valores de deformações (flechas) obtidas durante aplicação das cargas de tração, específicas para o ensaio de elasticidade em bancada para postes modulados emendados com seção maciça.

Quadro 20: Valores de deformação para ensaio de elasticidade

POSTE TIPO	FACE DO ENSAIO	ESFORÇO (DaN)	FLECHA		OBSERVAÇÕES
			PERMISSÍVEL 367,50mm	RESIDUAL 36,75mm	
DT 10,50m SEÇÃO MACIÇA SEM CHAPA NA EMENDA	A	75	320	-	OK. Dentro do limite de deformação definido na norma NBR 8451-2: 2013
		105	-	18	
	B	150	312	-	OK. Deformação dentro do limite.
		210	-	Rompeu	Trinca na borda inferior - compressão
DT 10,50m SEÇÃO MACIÇA COM CHAPA NA EMENDA	A	75	309	-	OK. Dentro do limite de deformação definido na norma NBR 8451-2: 2013
		105	-	34	
	B	150	291	-	OK. Deformação dentro do limite.
		210	-	Rompeu	Problema ancoragem armadura Longitudinal.

A aderência do concreto proporcionada pela ranhura da armadura longitudinal das 06 (seis) barras de aço CA50 que compõe a seção de aço na extremidade do trecho maciço, não foram suficientes para conter a força de tração gerada pelos parafusos com a deformação ocorrida durante o ensaio de elasticidade. Esta transferência de esforço de certa forma seria até esperada, uma vez que a resistência dos parafusos de travamento é de 3000 kgf/cm², muito superior à ancoragem proporcionada pelas 06 barras longitudinais da armadura num trecho com 40 cm equivalente ao comprimento de ancoragem da seção maciça. Isto provocou o desprendimento inicial da aresta de concreto, como pode ser visto na Figura 116, quando o cobrimento da armadura na seção de emenda descolou da estrutura, surgindo a trinca transversal na posição do primeiro estribo, decorrente do escorregamento da armadura longitudinal próximo a seção da emenda.



Figura 116: Trinca por falta de aderência na armadura

Parte da armadura transversal do sistema de emenda não suportou as deformações com a carga no limite elástico (210 kgf/cm²), fraturando o concreto por tração, com ruptura no ponto de ancoragem dos parafusos de travamento.

Com aplicação da força de tração ocorreu o escorregamento do aço, que estava engastado no concreto pelas ranhuras da armadura longitudinal no trecho maciço. A estrutura de concreto rompeu pela ação de esforços cortantes que atuaram em cada um dos estribos existentes neste trecho.

Para confirmar o deslocamento da armadura longitudinal, pode ser observado na Figura 117, deformação dos estribos inclinados para direita, em oposição ao travamento desenvolvido pelos parafusos do sistema de emenda.

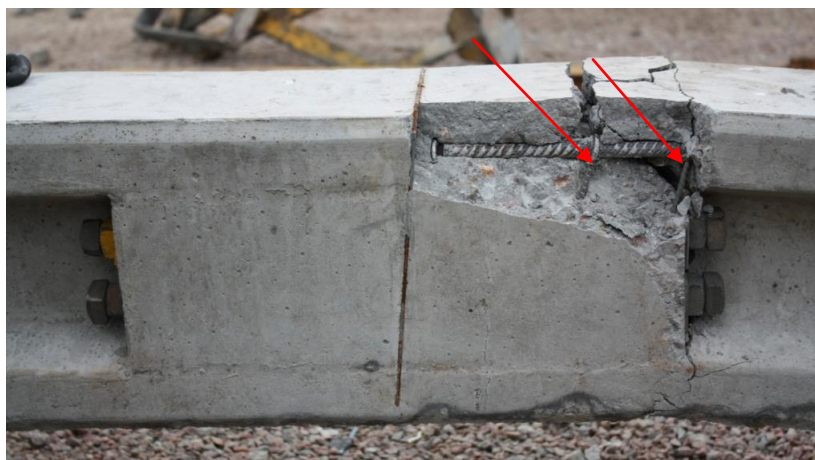


Figura 117: Deslizamento da armadura longitudinal no concreto

Na Figura 118, a distribuição granulométrica do concreto está uniforme, sem pontos vazios entre argamassa e agregados, o que aumenta a resistência do concreto ao arrancamento, pois não existem caminhos preferenciais para acomodação das deformações, dificultando que microfissura aumentem até o ponto de transformarem-se em trincas estruturais.



Figura 118: Trinca na direção do estribo decorrente da tração no concreto

O teor de argamassa no concreto beneficia o envolvimento da armadura de aço, aumentando aderência nas ranhuras superficiais e dificultando o deslizamento da armadura internamente no concreto. Isto caracteriza que a falha não tem relação com a constituição do concreto e sim, com a configuração estrutural da armadura de aço, uma vez que prevaleceram as deformações por tração no concreto.

Para confirmar que a intensidade dos esforços atuantes na seção de emenda é mais elevada do que a resistência nominal da estrutura de concreto em postes seção duplo T. Em função da deficiência relacionada ao fator de forma, como demonstrando nos ensaios, foi proposto avaliar postes de concreto modulados de seção circular, seguindo o mesmo padrão de ensaios para avaliação da resistência estrutural na seção de emenda.

4.15 ENSAIO COM EMENDA EM POSTE CIRCULAR MODULADO

No desenvolvimento do ensaio de elasticidade para emendas executadas em postes circulares foram avaliadas as deformações em quatro intensidades de carregamentos diferentes 1,0 RN, 1,4 RN, 2,0 RN e carga nominal de ruptura, estipuladas nos procedimentos. Uma vez que este sistema de emenda já foi aprovado nos testes de içamento com balança, com cinta de lona e içamento com ação dinâmica, sem apresentar fissuras nem borda comprimida, alcançaram no ensaio de elasticidade os valores apresentados no Quadro 21 e demonstrado na Figura 119.

Quadro 21: Resistência à tração no ensaio de elasticidade

POSTE TIPO	FACE DO ENSAIO	ESFORÇO (daN)	FLECHA		OBSERVAÇÕES
			PERMISSÍVEL 367,50mm	RESIDUAL 36,75mm	
SEÇÃO CIRCULAR 10,50m 300 daN	B	300	137	-	OK. Valores abaixo dos limites de deformação permitida na NBR 8541-2: 2013
		420	-	13	
	B	600	Carga de ruptura mínima especificada pela NBR		OK dentro dos padrões estabelecidos pela NBR 8541-2: 2013
		1050	Carga ruptura final registrada no ensaio de elasticidade em bancada		OK valor acima do mínimo definido pela NBR 8541-2: 2013



Figura 119: Ensaio de elasticidade para carga de ruptura de 600 daN e 1050 daN

O desempenho do sistema de emenda para poste circular ultrapassou o limite de carga de ruptura 200% da $RN = 600 \text{ kgf/cm}^2$, atingindo 1050 kgf/cm^2 , mostrando-se eficiente em função do fator de forma que distribuiu as tensões em todas as direções, associado ao efeito que a cunha interna de concreto promoveu, transformando o núcleo vazado em uma estrutura confinada e maciça. Isto fez a compensação das tensões de tração atuantes na face externa da luva

pela compressão da cunha, que alterou o núcleo da estrutura vazada para maciço, aumentando o volume de concreto da seção transversal da emenda capaz de suportar as tensões de compressão geradas nesta região.

Associando a correta distribuição da armadura uniforme em todo o perímetro da seção circular, conforme determina a NBR 6118:2003 a taxa máxima de armadura em relação à seção transversal de concreto deve ser de 4%, como apresentado no Quadro 13 da pg.94, para poste circular analisando a seção de emenda a taxa de armadura é de 3,95%, muito próximo do ideal.

5. CONCLUSÕES

5.1 QUANTO A EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE PROTEÇÃO

O desenvolvimento de um sistema de proteção para as estruturas que suportam as redes de distribuição de energia, contra a ação destrutiva da força gerada pela colisão de veículo automotor contra postes de concreto pré-moldado, a partir da escolha da luva constituída pelo compósito de PRFV, atendeu o objetivo principal da pesquisa.

A luva de PRFV do sistema de proteção foi testada em 07 arranjos diferentes na composição dos materiais amortecedores e na configuração de instalação. Com a realização dos ensaios de impacto foi verificada a necessidade dos materiais apresentarem propriedades condizentes às solicitações impostas pelas severas condições de serviço que envolve o fenômeno da colisão.

O foco da pesquisa foi provar com ensaios de campo que propriedades físicas e mecânicas dos materiais que constituem a luva de proteção de PRFV, agindo em conjunto como os materiais de enchimento, têm a capacidade para absorver e dissipar energia gerada com o impacto veicular, por meio da deformação dos materiais, antes de atingir a estrutura de concreto do poste.

A luva de PRFV tem capacidade de deformação sem entrar em colapso, possibilitando absorver parte da energia do impacto em função da compressão diametral e do alongamento dos fios de fibra de vidro, que é limitada pela ação adesiva da resina de poliéster, ou seja, a luva de PRFV apresentou um poder de deformação quase elástico.

O comportamento eficiente da luva de PRFV quanto à retenção da força cortante foi observado nas peças que apresentavam embutidas duas lâminas de aço de 0,6 mm para reforço da parede. O que proporcionou aumento na área de contato entre os fios de poliéster e as lâminas de aço, facilitando dissipar as tensões quando estes materiais se encontram unidos pela resina poliéster.

A propriedade mecânica obtida em função do processo de fabricação, decorrente do enrolamento contínuo “Winding”, que une fios de fibra de vidro com resina poliéster, garantiu elevado poder de elasticidade tanto para o poste como para a luva. Sendo o diferencial que impediu a ruptura e queda do poste de PRFV no teste de impacto inicial, possibilitando o restabelecimento da estrutura na vertical com correção no posicionamento da parte engastada.

O agregado leve de EVA, foi o material de enchimento que apresentou melhor poder de deformação e absorção de energia, quando sujeito a força de compressão. Nos ensaios de “crash test”, foi observada a necessidade de confinamento e aglutinamento, para que a deformação gerada pela compressão fosse absorvida pela resistência oferecida em função da densidade do material.

O uso dos pneus como elemento para redução primária da energia produzida pelo impacto se mostrou viável, contudo devem ter o interior preenchido por materiais com propriedades amortecedoras, para oferecer resistência à deformação gerada pela colisão da vagoneta contra a coluna de pneus.

O formato circular dos pneus se adaptou ao conjunto luva de proteção + poste, por ter o diâmetro superior ao diâmetro da luva de PRFV que envolve o poste de concreto, ficando o poste + luva circunscrito na área interna dos pneus, beneficiando o travamento do conjunto, além de possibilitar a proteção radial do poste em caso de colisão proveniente de qualquer direção.

Outra constatação observada durante a execução dos ensaios de “crash test” foi à reduzida distribuição das armaduras de aço pela área de concreto disponível na seção transversal do poste modelo DT.

Um ponto importante no processo de absorção de energia foi o fator de forma, que para o poste DT na seção de emenda, tem redução de 38% na área de concreto. Portanto, não favorece a distribuição dos esforços, concentrando tensões de compressão nas extremidades das abas, com volume de concreto insuficiente para absorver a força de compressão. Este fato foi constatado nos ensaios de “crash test” para as diferentes versões realizadas, mesmo quando a estrutura de concreto acima da luva de proteção se manteve íntegra. As arestas

fragmentaram no local do impacto protegido pela luva, onde o reduzido volume de concreto se destina a proteção, ainda que mínima, da armadura de aço contra agressividade do meio onde a estrutura será instalada.

Foi constatado que deixar o solo no entorno do ponto de engastamento mais rígido, não reduz os danos causados pela colisão, ao contrário aumenta a inércia do conjunto, transferindo os esforços originados da fase final da colisão (deslocamento dos corpos), para os materiais que constituem o núcleo do sistema, no caso o poste de concreto.

5.2 QUANTO AO SISTEMA DE EMENDAS EM POSTE DUPLO T

Comparando postes modulados de seção DT com seção circular, o diferencial constatado era a diferença de peso, decorrente da menor quantidade de material utilizada na produção. Com relação às deformações originadas nas operações de içamento e ensaio de elasticidade, as deficiências apresentadas nas diferentes configurações ensaiadas, para postes com emenda, não viabilizaram a utilização do poste seção DT para suporte das RDEs.

Em função das deformações apresentadas quando sujeitas aos carregamentos, a seção DT demonstrou deficiência ao ser avaliada em relação ao fator de forma, pois as tensões foram concentradas nas arestas internas, ou seja, no ponto de encontro da alma com a aba, principalmente na borda inferior sujeita à compressão.

As adições sintéticas e minerais, inseridas no concreto para moldar os prismas surtiram efeitos positivos, pois durante os ensaios a estrutura do concreto do poste DT entrou em ruína antes da estrutura do prisma, decorrente do comportamento diferenciado do concreto em relação à flexão. Como afirmado por Metha e Monteiro (2008), que o estágio de deformação do concreto com adição de fibras é superior oferecendo maior ductilidade a estrutura. Quando posicionados no interior das gavetas os prismas atuavam simultaneamente à

tração por flexão no sentido do comprimento e a compressão transversal com o travamento dos parafusos de fixação.

A emenda utilizando o prisma encaixado nas gavetas após a redução de alguns pontos críticos como tensões localizadas na seção da emenda (aba inferior comprimida) continuou apresentando deficiência na resistência da alma de concreto, não suportando o esforço de cisalhamento gerado com o alinhamento dos parafusos de travamento;

A utilização da argamassa de alta resistência preenchendo o espaço do prisma na seção de emenda desempenhou papel importante na correção das diferenças existentes nas dimensões do prisma quando moldado em formas metálicas, tornando perfeito o encaixe da chapa de aço tipo xadrez na gaveta da seção DT. A montagem foi rápida, porém sem condições de aplicar o groute simultaneamente em ambos os lados da gaveta, necessitando de 24 h entre início e término de montagem. No ensaio de içamento foi constatado o baixo desempenho quanto à aderência do groute na superfície da chapa xadrez.

A emenda de topo com faixa maciça obteve o melhor desempenho quanto ao ensaio de elasticidade, superando os esforços atuantes no teste de içamento com ação dinâmica, como também facilidade e rapidez de execução em campo,

A aderência das barras ranhuradas no concreto foi determinada pelo comprimento da faixa maciça na seção de emenda, sendo os esforços transferidos de um módulo para o outro pela tração dos parafusos de travamento. Foi constatada no ensaio de elasticidade com carga acima da resistência nominal de 150 daN a necessidade de maior comprimento de ancoragem das barras de aço longitudinais, suportando os esforços de tração. Para corrigir esta deficiência faz-se necessário o aumento da faixa de concreto maciça na seção de emenda.

Para aumento do número de barras longitudinais, deve-se obrigatoriamente aumentar o volume de concreto na mesma seção, garantindo a distribuição uniforme dos esforços na estrutura, gerando aumento no peso próprio da peça, situação desfavorável aos objetivos secundários desta pesquisa.

A seção transversal modelo duplo T não contribuiu para distribuição dos esforços na seção da emenda. Ocorrendo tensões concentradas nas arestas das abas, com volume de concreto abaixo do especificado na NBR 6118:2007, apresentando 38% de redução de área de concreto na seção de emenda que deveria suportar esforços de compressão localizada, somada à ausência de armadura de confinamento distribuída pelo comprimento, principalmente no trecho da seção de emenda.

Estes fatores foram limitantes para o desempenho dos postes modulados emendados, pois a proposta para emenda na seção duplo T, tanto com prisma de concreto encaixado nas gavetas, com travamento por argamassa de alta resistência, com travamento por parafusos transversais associado ao reforço com chapa xadrez, como por parafusos longitudinais com junta metálicas na faixa maciça da seção de emenda.

Estas configurações avaliadas não foram capazes de distribuir as tensões tanto de tração quanto de compressão originadas na seção da emenda. Resultando na sobrecarga da estrutura na emenda e principalmente durante os esforços atuantes nas operações de içamento com ação dinâmica, como no ensaio de elasticidade com carga nominal no limite excepcional de $1,4R_N = 210\text{kgf/cm}^2$, quando a estrutura entrou em colapso primeiro com a ocorrência de fissuras capilares e na sequência com trincas e estilhaçamento do concreto.

5.3 QUANTO AO SISTEMA DE EMENDA EM POSTE CIRCULAR

Na avaliação das operações de montagem do sistema de emenda para poste de seção circular, apesar da conexidade e o maior peso dos módulos, foi prático o posicionamento da luva externa e cunha interna de concreto para união das partes, baseado no tempo gasto para alinhamento dos módulos e posicionamento da luva. O mesmo ocorrendo com a aplicação da argamassa de alta resistência, que faz a solidarização do conjunto, fluindo com facilidade pelo comprimento da luva e preenchendo todo o contorno da seção circular do poste.

Uma restrição surgiu em relação ao peso das formas metálicas para a movimentação dos moldes tronco cônicos, sendo ideal que as 02 peças do conjunto luva tenham a opção de abertura lateral com sistema de dobradiças, para facilitar a desforma, ao invés de suspender os moldes metálicos para retirada das peças concretadas, só realizado com uso de talha mecânica.

O fator de forma mais uma vez foi decisivo, provando a melhor distribuição dos esforços em todas as direções, pois superou com grande margem os valores de resistência no ensaio de elasticidade em bancada, não ocorrendo nenhum tipo de manifestação patológica. Inclusive no ensaio de içamento por um único ponto com ação dinâmica, que simulava o movimento em forma de onda, levando a estrutura de concreto ao colapso.

A interação do fator de forma, conexidade e luva de emenda com dois componentes, interno e externo (cunha e luva), proporcionaram para emenda do poste modulado de seção circular uma união fortalecida, transferindo com eficiência as forças de tração e compressão atuantes na seção de emenda ao longo do comprimento do poste, reduzindo as tensões nesta região. Garantindo a estabilidade estrutural e continuidade necessária para transferência dos esforços.

5. TRABALHOS FUTUROS

- 1) Com objetivo de melhorar a eficiência da emenda maciça no poste de seção DT que não suportou as deformações no ensaio de elasticidade para a carga de ruptura (210 kgf/cm^2). Apresenta-se como proposta alongar a faixa da seção maciça com a finalidade de aumentar a ancoragem das barras longitudinais, para suportar o esforço de tração transferido pelos parafusos de travamento, como embutir no concreto placa de ancoragem soldada na armadura de aço que compõem a estrutura do poste, evitando o escorregamento dos estribos neste ponto.
- 2) Com o proposito de aumentar a ação do material de amortecimento propõe-se produzir e testar luvas de PRFV com diâmetro interno de 600 mm. Garantindo a liberdade para deformação da luva de proteção e compressão do material de amortecimento, em todo perímetro radial, antes de atingir a estrutura de concreto;
- 3) A partir da associação dos melhores resultados obtidos nas 07 diferentes versões ensaiadas, propõe-se desenvolver um protótipo em escala real constituído de: uma luva de PRFV de diâmetro 700mm para instalação externa, moldada sobre coluna de pneus, com reforço na parede externa composto pela adição de duas lâminas de aço de espessura 0,6mm, embutidas na superfície da luva durante o processo de enrolamento. Este conjunto externo seria instalado sobre o poste que fica protegido por outra luva interna também de PRFV de diâmetro 400 mm, preenchida internamente com material amortecedor a base de fragmentos de EVA aglutinados com adesivo flexível à base de pasta de gesso + cola PVA. Assim pretende-se eliminar a força cortante produzida pelo impacto sobre a superfície da luva com ação das lâminas de aço e garantir à redução primária de energia de colisão pela deformação da coluna de pneus que se encontra fixada à luva de PRFV externamente, formando um elemento único com maior poder de reação à força do impacto veicular.
- 4) Avaliar por meio de ensaio de tenacidade corpos de prova moldados com diferentes arranjos representando o sistema de amortecimento, analisando a

mistura do material compressível tipo EVA, teor de areia e o diferencial obtido para misturas confinadas por aglutinantes, estabelecendo a relação entre diâmetro da luva de PRFV e volume de material amortecedor, para um dimensionamento eficaz a fim de obter o 100% de absorção da energia, não permitindo a transferência dos esforços para a estrutura de concreto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, ANEEL. <http://www.aneel.gov.br/areaPerfil.cfm?idPerfil=4>. Acessado em agosto de 2013.

ALMACO (2012). ASSOCIAÇÃO LATINO AMERICANA DE MATERIAIS COMPOSITOS. Reportagem: “O Roving contínuo direto da Owens Corning é inovação na produção de postes de fibra de vidro p/ redes de distribuição de energia elétrica no Brasil”. Fonte: OWENS CORNING, 07. Nov. 2006, São Paulo, 2006. http://www.almaco.org.br/noticias_anteriores_det.cfm?ID=480

ARRIGTON, D. R.; BLIGH, R.P. AND MENGES, W.L. Alternative Design of Guardrail Posts in Asphalt or Concrete Mowing Pads. Roadside Safety Research Program Pooled Fund Study. TPF – 5(114) **Texas Transportation Institute**, TEXAS. USA 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto – procedimentos, 2007. 221p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8451-2. Postes de concreto armado e protendido para redes de distribuição e transmissão de energia elétrica – Parte 2: Padronização de postes para redes de distribuição de energia elétrica, 2013. 11p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado – procedimentos, 2006. 59p.

BARBOSA P. H. Contribuição inspeção, diagnóstico e procedimento de reabilitação de postes de concreto armado centrifugado utilizado em telefonia Celular. Tese

(doutorado), Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo (SP), 2007. 167p.

BATLOUNI NETO, J. **Materiais de Construção Civil e Princípios da Engenharia dos Materiais**. Cap.5: Critérios de Projeto para Seleção dos Materiais. Editora G.G. ISAIA – São Paulo: IBRACON v.2, 1712p. (2007).

BAYTON, D. A. F.; JONES, T. B.; FOURLARIS, G. Analysis of a safety barrier connection joint post-testing. **Materials and Design**, 29, 915, 2008 www.elsevier.com . Acessado em março de 2013.

BAYTON, D. A. F.; LONG, R.; FOURLARIS, G. Dynamic response of connection in road safety barriers. **Materials and Design**, 30, 429, 2009.

BEASON, W. L.; BULLARD JR, D. L. Development of a Limited-Slip Portable Concrete Barrier Connection. **Texas Transportation Institute**, TEXAS. USA 1993.

BOROVINS'EK, M.; VESENJAK, M.; ULBIN, M.; REN, M. Simulation of crash tests for high containment levels of road safety barriers. **Engineering Failure Analysis**, v.14. 2007. ELSEVIER. www.sciencedirect.com. Acessado em abril de 2013.

BRAGA, A. C. G. Estudo de Pilares Mistos Aço-Concreto com comparações entre Soluções em Aço e em Concreto Armado. Dissertação (Mestrado) Programa de Pos-Graduacao em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória (ES), 2006.

BRIAN, M. Utility pole crash modeling. Report ME 00-8, **Maine Department of Transportation**, Augusta, EUA, 2001.

BUFFONI, S. S. O.de; SILVA, R. R. Instabilidade de armaduras longitudinais em colunas de concreto armado. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.6, p.1-14, Março, 2005. <http://www.upf.br/seer/index.php/rsae/article/view/287>

BUTH, C. E.; BRACKIN, M. S.; CHATHAM, L. S.; BULLARD, D. L.; HAUG, R. R.; WILLIAMS, W. F.; LORD, D.; FRY, G.; GEEDIPALLY, S. R.; ABU-ODEH, A.; MENGES, W. L. Guidelines for Designing Bridge Piers and Abutments for Vehicle Collisions (9-4973-P2). **Texas Transportation Institute**, TEXAS. USA 2011.

CHAPPEX, T; SCRIVENER, K. L. The influence of aluminum on the dissolution of amorphous silica and its relation to alkali silica reaction. **Cem. Conc. Res.**, 42, 1642, 2012

WILLIAM, R. P; HART, R. D; VAN RIESSEN, A. Quantification of the extend of reaction of metakaolin-based gel polymers using X Ray diffraction scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy. **JACS**, 94, 2663, 2011.

COMPANHIA DE ENERGIA ELETRICA DO PARANÁ (COPEL). NTC 810051. Normas de materiais de Distribuição – Especificação, 2009.

CONSOLAZIO, G. R.; CHUNG, J. H.; KURTIS, G. R. Impact simulation and full scale crash test of a profile concrete work zone barrier. **Computer and Structures**. V.81. 2003 www.elsevier.com Acessado em março 2013.

DIN EN1317-5: 2012 - Sistemas Rodoviários de Contenção. Parte 5: requisitos do produto, procedimentos de avaliação da conformidade dos sistemas de retenção de veículos. Versão alemã DIN EN 1317-5: 2007. <http://webstore.ansi.org/RecordDetail.aspx?sku=DIN+EN+1317-5%3a2012>

ELMARAKBI, A.; SENNAH, K.; SIRIYA, P.; EMAM, A. Parametric effects on the performance of traffic light poles in vehicle crashes. **International Journal of Crashworthiness**, v11 ed. 3, pp. 217 - 230, (2010).

ESKANDARIAN, A.; MARZOUGUI, D.; BEDEWI, N. E. Finite element model and validation of a surrogate crash test vehicle for impacts with roadside objects. **International Journal of Crashworthiness**, v.2 ed. 3, pp. 239 - 258, (2010).

FRANCISCO, E. P.; SILVA, I. N. L.; TORESAN JUNIOR, W.; BECK, J. C. P. Impacto de um automóvel contra um poste de concreto: Uma simulação numérica. **Revista brasileira de ciências criminais**, São Paulo, 2010. 21p. <http://www.ibccrim.org.br/site/revista/edicoesAnteriores.php>

FERREIRA, E. Estudo da arte – revisão da norma NBR8451 – postes de concreto armado para redes de distribuição de energia elétrica. In: **Workshop Qualicerti de Artefatos de Concreto**, III QUALICERTI, nov. 2008; Curitiba, PR, (2008).

GASPARIM, J. C. Inspeção, diagnóstico e procedimento de reabilitação de postes de concreto armado. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, Departamento de Engenharia de Construção Civil, (BT/PCC/500) São Paulo: EPUSP, 2008. 14p.

GIMÉNEZ, A. F.; PALOMO, A. Characterization of fly ashes. Potential reactivity as alkaline cements. **Eduardo Torroja Institute** (SCIC) c/ Serano Galvache s/n 28033, Madrid, Spain. SCIENCE DIRECT ELSEVIER, (2003)

GRPCOM (2010), JORNAL HOJE e PARANÁ TV 2ª edição. Curitiba, Grupo Paranaense de Comunicação. Clypping, Programa de TV transmitida 16 de março de 2010.

IVEY, D. L. and LA BELLE, D. M. (1999). Options for Utility Contributions to Roadside Safety in Cost Effective Ways, Presentation to Utilities Committee, A2A07, **Texas Transportation Research Board**, (Adopted as the First Draft Report by the Utilities Safety Task Group), Vol. 35, N°1, (1999).

JOHN, W.M. Materiais de Construção Civil e Princípios da Engenharia dos Materiais. Cap.4: Materiais de Construção e o Meio Ambiente. Editora G.G. ISAIA – São Paulo: IBRACON, 2v, 1712 p. (2007)

JOUKOSKI, A.; PORTELLA, K. F.; GARCIA, C. M.; SALES, A.; DE PAULA, J. F. Estudo do processo de fabricação de postes de concreto armado destinado a redes de distribuição elétrica: principais falhas, suas consequências e correções. In: ANAIS 44° Congresso Brasileiro do Concreto, CBC 2002, Belo Horizonte/MG, (2002).

JOUKOSKI, A.; PORTELLA, K. F.; BARON, O.; GARCIA, C. M.; VERGÉS, G. R.; SALES, A.; DE PAULA, J. F. A influência do tipo de cimento e adição na vida útil do poste de concreto armado submetido ao ambiente de alta salinidade do Nordeste do Brasil, estudada pela técnica do potencial de corrosão. REVISTA CERAMICA, n.50, pg. 12-20, (2004).

MELO, L. A.; LIMA, G. B. A.; GOMES, N. D.; SOARES, R. Segurança nos serviços emergenciais em redes elétricas: os fatores ambientais. **Revista Produção**, v.13, n.2, pg. 88-101, (2003).

KISSULA, G. L.; Relatório Anual de Gerenciamento de Redes. Divisão de Geo Processamento (DIS/SED/DNGO/VGEO). Coordenação de Marketing Institucional. Divulgado via eletrônica email: kissula@copel.com em 30. out. 2012.

KULAKOWSKI, M. P.; PEREIRA, M. P.; DALMOLIN, D. C. C.; KAZMIERCZAK, C. S. Estudo da porosidade como condicionante da durabilidade e carbonatação em

concretos. In: ANAIS 48°, **CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO**, CBC 2006, Rio de Janeiro/RJ, (2006).

MEHTA, P. K.. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. Tradução P. J. M. Monteiro. Ed PINI Ltda. São Paulo, (1995).

METHA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. Cap.11: Métodos de Propagação de Ondas de Tensão, pp 408-417, Ed. IBRACON, São Paulo, (2008).

MEYER, C. The greening of the concrete industry. **Cements and Concrete Composites**, (2009).

MORGAM, J.R. and IVEY, D. L. Analysis of Utility Pole Impacts. **Texas Institute and Civil Engineering Research Board**. DEPTO TEXAS A&M University System College Station, Texas (1996) <http://tti.tamu.edu/publications/>

NEVILLE, A.; **Propriedades do concreto**. Tradução S. E. Giammusso. 2ª. edição, Editora PINI Ltda., São Paulo, (1997).

NYSTROM, G.; KOST, G. Application of NHTSA Crash Database to Pole Impact Prediction. **SAE Technical Paper 920605**, doi:10.4271 / 920605. SAE Inc., Warren dale, PA, (1992). <http://papers.sae.org/920605/>

OYAMA, Y. Polymer-based Admixtures. **Cement and Concrete Research**, v.20, pg. 198-212, (1998).

PALOMO, A.; GRUTZECK, M. W.; BLANCO, M. T. Alkali activated fly ash. A cement of future. **Cement and Concrete Research**, v.29, (1999).

PETROFISA (2013). POSTE EM COMPOSITO_GRUPO PETROPLAST, Catálogo de Produtos. http://www.petrofisa.com.br/downloads/postes_petrofisa%20.pdf. Acessado em março 2013.

PORTELLA, K. F.; GARCIA, C. M.; VERGÉS, G. R.; JOUKOSKI, A.; FREIRE, K. R. R.; CORRÊA, A. P.; Desempenho físico-químico de metais e estruturas de concreto de redes de distribuição de energia: estudo de caso na região de Manaus. **Química Nova**, v.29, n.4, pg. 724-734, (2006).

PORTELLA, K. F.; GUIMARÃES JR. P.V.; JOUKOSKI, A.; LACERDA, L. A. de; OLIVEIRA, P. A.de; CERQUEIRA, D. P.; CABUSSÚ, M. S.; SALLES, R. N.; BOMFIM, M. A. D.; **Sistema para Teste de Colisão**. PI 11.00528-9 A2, solicitado em 15 fev 2011. Publicação do Pedido de Patente na Revista de Propriedade Industrial (INPI) RPI 22 em 28 de maio 2013.

PORTELLA, K. F.; GUIMARÃES JR. P.V.; JOUKOSKI, A.; LACERDA, L. A. de; OLIVEIRA, P. A.de; CERQUEIRA, D. P.; CABUSSÚ, M. S.; SALLES, R. N.; BOMFIM, M. A. D.; **Sistema para emenda de poste de concreto modulado de seção circular no campo**. PI 1102444-5, solicitado em 07.05. 2011. Publicação do Pedido de Patente na Revista de Propriedade Industrial (INPI) RPI 2217 em 02 de julho 2013.

RAMAMURTHY, K.; KUNHANANDAN, E. K. N.; RANJANI, G. I. S. A classification of studies an properties of foam concrete. **Cement & Concrete Composites**, v.31, pp. 388-396, (2009).

REMENNIKOV, A. M.; KONG,S. Y.; UY BRIAN The response of axially retrained non- composite steel – concrete - steel sandwich panels due to large impact loading. **Engineering Structures**, v.49, 806, (2013).

REN, Z.; VESENJAK, M. Computational and experimental crash analysis of the road safety barrier. **Engineering Failure Analysis**, v.12, 2005. ELSEVIER. www.sciencedirect.com. Acessado em março 2013.

RODRÍGUEZ, E.; BERNAL, S.; GUTIÉRREZ, R. de M.; PUERTAS, F. Hormigón alternativo basado en escorias activadas alalinamente. **Materiales de Construcción**, v.5-291, pp. 53-67, (2008).

ROSSIGNOLO, J. A. Avaliação da porosidade e teor de CH de pastas de cimento Portland com sílica ativa e látex SBR. **Revista Matéria**, v.10(3), pg. 437-442, (2005).

SÁ, J. L. P. 20 perguntas frequentes sobre linhas de alta tensão e saúde pública. **Instituto Superior Técnico**, Lisboa, 2008. <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/165268/1/FAQs%20sobre%20linhas%20de%20Alta%20Tensao%20e%20saude%20publica.pdf>. Acessado: julho de 2013.

SAPRAGONAS, J.; JUODVALKIS, D.; MAKARAS, R.; KERŠYS, R. Research into elements of the multifunctional deformation zones of a car body. **Mechanika**. 2013 Volume 19(2): 191-196 ISSN 1392 – 1207 <http://dx.doi.org/10.5755/j01mech.19.2.4170>

STINGSON, H.; YDENIUS, A.; KULLGREN Variation in crash severity depending on different vehicle types and objects as collision partner. **International Journal of Crashworthiness**, v.14 ed. 6, pp. 613 - 622, (2009).

SUDANO, L. S. and HANAI, J. B.de Avaliação do coeficiente de forma da seção transversal e suas implicações no desempenho de pilares reforçados com PRFC **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 8, n. 35, p. 95-126, (2006) http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova_versao/pdf/cee35_95.pdf

SÜMER, M. Nota técnica: Utilización del filler y superplastificantes en el hormigón de altas prestaciones. **Materiales de Construcción**, v.57(287), pg. 75-80, (2007).

TAN, Ö.; ZAIMOGLU, A. S. Optimización de la resistencia a compresión de lechadas de cemento reforzada con aditivos. **Material's of Constructions**, Vol.57-288, pp. 91-98, (2007)

THILAKARATHNA, H. M. I.; THAMBIRATNAM, D. P.; DHANASEKAR, M.; PERERA, N. Numerical simulation of axially loaded concrete columns under transverse impact and vulnerability assessment. **International Journal of Impact Engineering**, 37, 1100, (2010)

TOPÇU, I. B.; AVCULAR, N. Collision behaviors of rubberized concrete. **Cement and Concrete Research**, 27,12, 1893, (1997).

TORESAN JÚNIOR, W. Colisão de automóveis em postes de concreto armado: Estudo do fenômeno e desenvolvimento de uma metodologia de cálculo de velocidade. http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/colisao_contra_postes_de_concreto.pdf. Acessado em julho 2013.

VALLE, V. D. Necessidade de postes e cruzetas na Copel, para o ano de 2009 e quais as dificuldades enfrentadas hoje observadas. In: WORKSHOP QUALICERTI DE ARTEFATOS DE CONCRETO, III QUALICERTI, Curitiba, PR. (2008).

VIAS SEGURAS (2013). Associação Brasileira de Prevenção dos Acidentes de Trânsito. Infra estrutura. http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais. Acessado em abril 2013.

VILÁN, J. A.; SEGADE, A.; CASQUEIRO, C. Development and testing of a non-energy-absorbing anchorage system for roadside poles. **International Journal of Crashworthiness**, v.11 ed. 2, pp. 143 - 152, (2010).